LNG载货汽车设计、使用与维修

何太平 ◎ 主编

- LNG载货汽车全接触
- 一图一注意一看就明白
- 设计使用维修一本就够





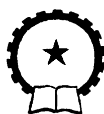
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

LNG 载货汽车设计、使用与维修

何太平　主编



机 械 工 业 出 版 社

LNG作为燃烧介质在汽车上的应用越来越普遍，而怎样正确使用、维修、保养LNG载货汽车是当前汽车行业较为关注的问题，会直接影响到汽车基本性能的发挥和使用寿命。

本书从理论上对LNG在重型载货汽车上的应用作了详细的介绍，对LNG发动机的结构进行了详尽的剖析，着重介绍了LNG气瓶及其附件与整车的匹配设计，对LNG气瓶及其附件的功能、作用也进行了描述，同时结合实践经验对LNG载货汽车的使用、保养、维修进行了详尽的介绍。而和柴油载货汽车通用的部分则舍去不作介绍。

本书内容丰富、实践参考性强，可作为LNG载货汽车工程技术人员和LNG载货汽车维修服务人员的参考用书，也可作为相关院校学习培训参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

LNG载货汽车设计、使用与维修/何太平主编. —北京：机械工业出版社，2014.6

ISBN 978-7-111-46837-0

Ⅰ.①L… Ⅱ.①何… Ⅲ.①液化天然气-载重汽车-总体设计②液化天然气-载重汽车-使用③液化天然气-载重汽车-车辆修理 Ⅳ.①U469.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第112639号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：连景岩 责任编辑：连景岩 丁 锋 版式设计：常天培
责任校对：张 薇 封面设计：张 静 责任印制：乔 宇
保定市中画美凯印刷有限公司印刷
2014年8月第1版第1次印刷
184mm×260mm · 17印张 · 1插页 · 410千字
0001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-46837-0
定价：49.90元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务 网络服务
社服务中心：（010）88361066 教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：（010）68326294 机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649 机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203 **封面无防伪标均为盗版**

序



随着社会的发展，人们对能源的需求在不断增长，而世界能源却是有限的，从而造成能源越来越匮乏。近年来，国家先后出台了一系列新能源及环保政策，旨在推动国内包括汽车在内的各行业，进一步采用新能源技术。而 LNG 技术在汽车上的应用，正好适应了国家节能减排的需要，LNG 技术在汽车领域的应用的前景十分广阔。

目前，我国已经形成批量生产 LNG 载货汽车的能力。由于整车燃气耗低、动力性好、可靠性优，不仅在国内获得用户的好评，而且还批量出口东南亚各国，显著提高了用户在汽车运输中的经济效益，同时也创造了良好的社会效应，为推动我国节能减排做出了贡献。

本书作者参与 LNG 商用汽车的设计多年，熟悉 LNG 商用汽车的试验、生产和用户服务的整个工作过程，对 LNG 技术在汽车上的应用有较深的了解，经过长期的知识积累，行业内广泛的技术交流、信息收集和总结特编著此书。

本书源于研发设计，注重实践与应用相结合，经过服务与用户验证，是 LNG 技术理论与实践相结合的汇集。相信本书的出版，无论对 LNG 载货汽车的设计、用户在工作中的使用，还是在维护修理工作中，都具有较高的参考意义，是一本十分难得的工具书。本书也可作为 LNG 商用汽车专业知识培训教材。

何智羽

2013 年 12 月

前　言



我国对环境保护的要求越来越高，今后一段时间内，我国将在全国范围内实施欧Ⅳ、欧Ⅴ排放标准。由于LNG在燃烧中产生的有害排放物较低，LNG技术在汽车领域的应用越来越广泛，国内汽车厂纷纷采用LNG作为汽车的燃烧介质，从一汽、二汽、上汽、中国重汽、陕汽和福田等国内知名汽车企业，到各地汽车制造公司，无论是客车还是货车，均已经采用LNG技术批量生产装车，给用户带来了很高的经济效益，为社会的环境保护、能源的节约做出了贡献。

由于显著的社会效益和经济效益，在今后相当长一段时期内，LNG商用汽车产量将呈现出一个较大的增长势头。LNG技术在汽车上的应用时间还不长，尚处于起步阶段，因此无论是在产品设计研发上，还是在用户使用以及服务人员维修工作中，都急需学习、了解、掌握LNG专业技术知识。

作者长期从事LNG商用汽车产品的研发设计工作，并参与LNG重型载货汽车的试制、试验，曾与国内多家LNG气瓶生产厂、发动机生产厂，进行过不同型号的LNG商用汽车、不同型号的LNG发动机、不同规格的LNG气瓶匹配、研发工作，在工作、学习中积累了一些知识、经验，希望通过本书的出版能够与业界朋友们交流，共同推动我国LNG商用汽车的发展。

因为LNG重型载货汽车与重型柴油载货汽车通用的基本结构已为人们所熟悉了解，为节省篇幅，本书只针对其不同的基本构造、工作原理、维修保养知识进行详细的介绍。读者在阅读本书时，对于通用基本结构，可参考相关的汽车专业书籍，在此希望读者予以见谅。

由于作者的水平有限，书中尚有很多错误和不当之处，敬请广大读者提出宝贵意见和批评，并期望通过交流不断地充实自己，共同提高LNG汽车的专业知识。

参加本书编写的还有任强、何智羽、何志明、何霞、唐超等。在编写过程中，还得到了金华青年汽车制造有限公司很多同事的支持，在此特向他们表示衷心的感谢。

目　录



序

前言

上篇　LNG 载货汽车、发动机的结构及基本特性

第一章　LNG 载货汽车、发动机的特性 …… 2

第一节　LNG 载货汽车的基本特性 …… 2

一、LNG 载货汽车的特性 …… 2

二、LNG 载货汽车供气系统的特性 …… 3

第二节　LNG 发动机的基本特性 …… 6

一、LNG 发动机的动力特性 …… 6

二、LNG 发动机的经济性能指标 …… 9

第三节　LNG 发动机的燃烧介质 …… 11

一、LNG 的汽化 …… 11

二、LNG 发动机的进气压力控制 …… 11

第四节　气态天然气的混合与控制 …… 14

一、LNG 发动机燃料的混合 …… 14

二、LNG 发动机混合燃料的控制 …… 15

三、LNG 发动机的点火 …… 16

第五节　LNG 发动机的燃烧和有害物的排放 …… 16

一、LNG 发动机的燃烧 …… 16

二、LNG 发动机燃烧有害物的排放 …… 17

第二章　LNG 的基本特性 …… 19

第一节　LNG …… 19

一、LNG 的特性 …… 19

二、LNG 的蒸发 …… 20

三、LNG 的泄漏和溢出 …… 20

四、LNG 的其他物理现象 …… 21

第二节　LNG 的储存、控制与调节 …… 21

一、LNG 的储存 …… 21

二、LNG 气瓶的检测、试验 …… 24

三、LNG 的进液与控制 …… 25

第三节　LNG 载货汽车的安全与控制 …… 29

一、气瓶工作压力限定 …… 30

二、气瓶防爆堵塞设置 …… 30

三、流量控制与限制 …… 30

第四节　供气系统的压力调节和显示 …… 31

一、供气系统压力调节 …… 31

二、压力显示 …… 31

第五节　LNG 液位储量显示系统 …… 32

一、电容电极（传感器） …… 33

二、电容变送器 …… 33

三、液位显示器 …… 34

第六节　LNG 载货汽车燃气的形成 …… 35

一、滤清后的洁净空气 …… 35

二、气态天然气的形成 …… 36

三、气态天然气与空气的混合及控制 …… 37

第七节　LNG 管道 …… 38

一、LNG 管道常用材料 …… 38

二、LNG 管道成形要求 …… 39

三、LNG 管道安装要求 …… 40

第三章　LNG 载货汽车发动机的工作原理及构造 …… 41

第一节　直列、水冷、六缸、四冲程 LNG 发动机 …… 41

一、LNG 发动机主要特性概述 …… 41

二、LNG 发动机的工作原理 …… 42

三、LNG 发动机的特点 …… 46

第二节　曲柄连杆机构 …… 46

一、气缸体总成 …… 47

二、活塞连杆组 …… 52



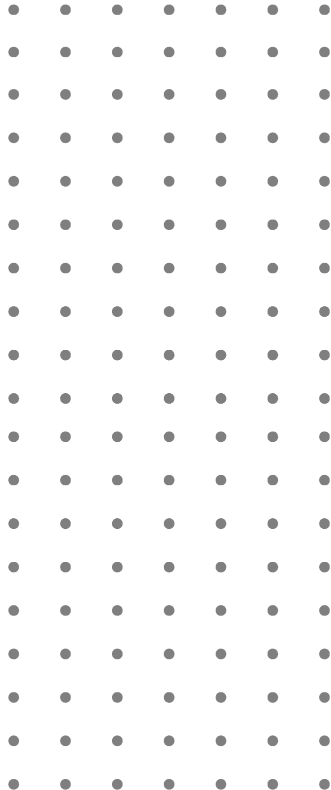
三、曲轴飞轮组 …… 57
第三节 配气机构 …… 58
一、配气机构的功能 …… 58
二、凸轮轴总成 …… 59
三、齿轮传动系统 …… 60
四、配气相位 …… 60
第四节 燃气供给系统 …… 62
一、LNG 发动机燃料的形成、流向 …… 62
二、LNG 发动机供气系统的构成 …… 63
第五节 润滑系统 …… 64
一、润滑系统的形式 …… 64
二、润滑系统的作用 …… 65
三、润滑系统的构成 …… 66
四、润滑系统机油的流向 …… 66
五、曲轴箱通风 …… 66
第六节 进排气系统 …… 67
一、进气系统 …… 68
二、排气系统 …… 73
第七节 冷却系统 …… 80
一、冷却系统的作用 …… 80
二、LNG 发动机冷却液的循环 …… 81
三、LNG 发动机冷却液的调节 …… 81
四、电磁离合器风扇 …… 82
五、正确使用、保养冷却系统 …… 84
第八节 电气系统 …… 85
一、电气系统的构成 …… 85
二、发动机的起动与补充电源 …… 86
三、LNG 载货汽车电气控制系统 …… 86
第四章 LNG 发动机供气系统的构成 …… 88
第一节 燃料供给系统 …… 88
一、汽车燃料供给系统 …… 88
二、发动机燃料供给系统 …… 89
第二节 点火系统 …… 91
一、点火线圈 …… 91
二、火花塞 …… 91
第三节 进气压力控制系统 …… 92
一、废气旁通控制阀 …… 92
二、防喘振阀 …… 92
第四节 传感器 …… 93
一、氧传感器 …… 93
二、大气环境传感器 …… 93
三、节气门后进气压力/温度传感器 …… 94
四、凸轮轴位置传感器 …… 94
五、冷却液温度传感器 …… 94
六、天然气温度传感器 …… 95
七、电子加速踏板 …… 95
第五节 电子控制模块 …… 96
第五章 LNG 载货汽车动力特性、主要部件使用要求 …… 97
第一节 LNG 载货汽车动力系统特性及使用要求 …… 97
一、LNG 载货汽车动力系统的特性 …… 97
二、使用要求 …… 98
第二节 供气系统主要部件作用 …… 99
一、储液气瓶 …… 99
二、汽化器 …… 100
三、缓冲罐 …… 100
四、稳压器 …… 100
五、低压燃气滤清器 …… 100
六、低压电磁阀 …… 100
七、电控调压器（EPR 阀） …… 101
八、混合器 …… 101
九、电子节气门 …… 101
十、燃气计量阀 …… 101
第六章 LNG 载货汽车供气系统的结构形式 …… 104
第一节 管路的安装、布置 …… 106
第二节 单后置气瓶 …… 107
第三节 双后置气瓶 …… 108
第四节 单侧置气瓶 …… 109
第五节 双侧置气瓶 …… 112

下篇 LNG 载货汽车使用、保养及故障维修方法

第七章 LNG 载货汽车行车检查及维护保养 …… 115
第一节 LNG 载货汽车行驶前检查 …… 115
一、基本常规检查 …… 115
二、LNG 载货汽车的运行 …… 116
三、LNG 供气系统检查 …… 116
第二节 LNG 载货汽车起动 …… 117
一、起动前操作规范 …… 117

二、常温起动 …… 118
三、低温起动 …… 119
第三节　LNG 载货汽车行车中检查 …… 119
一、注意事项 …… 119
二、发动机的磨合 …… 120
三、电气控制系统的注意事项 …… 120
第四节　LNG 载货汽车停车 …… 120
一、临时停车 …… 120
二、夜间停车 …… 120
三、特殊气候条件下的停车 …… 121
第五节　LNG 载货汽车的维护保养 …… 121
一、日常维护保养 …… 121
二、一级维护保养 …… 122
三、二级维护保养 …… 123
第六节　涡轮增压器的保养 …… 125
一、采用高品质机油 …… 126
二、注意保持涡轮的清洁 …… 126
三、发动机起动后须怠速运行 …… 126
四、发动机停车前须逐渐降低转速 …… 126
五、定期检查很关键 …… 127
第七节　LNG 载货汽车供气系统保养 …… 127
第八章　LNG 载货汽车故障检查、分析及诊断方法 …… 129
第一节　LNG 载货汽车常见故障的检查、判别 …… 130
一、检查故障 …… 130
二、分析诊断故障 …… 131
第二节　LNG 载货汽车常见故障的分析 …… 136
一、从 LNG 载货汽车工作原理分析故障 …… 136
二、从 LNG 载货汽车运行现象分析故障 …… 136
三、维护注意事项 …… 137
第三节　LNG 载货汽车故障处理方法 …… 137
一、汽车故障诊断的基本方法 …… 137
二、汽车故障诊断的四项基本原则 …… 137
三、汽车故障诊断的流程 …… 137
第九章　LNG 载货汽车常见故障及维修方法 …… 139
第一节　LNG 载货汽车无法正常起动、行驶故障的判别处理 …… 139
一、LNG 载货汽车无法正常起动的原因 …… 139
二、LNG 载货汽车动力不足的原因 …… 142
三、发动机供气量不足的原因 …… 150
第二节　LNG 载货汽车供气压力故障的判别处理 …… 152
一、供气压力较低 …… 152
二、供气系统压力增高的原因 …… 154
三、气瓶排空气体释放的原因 …… 157
四、供气系统压力的调节方法 …… 159
五、耗气量过高故障的判别处理 …… 161
第三节　LNG 气瓶真空度失效故障的判别处理 …… 163
第四节　LNG 载货汽车安全系统故障的判别处理 …… 165
一、压力表失效（显示压力过高或过低）故障的判别 …… 165
二、LNG 载货汽车安全性保证（气瓶安全阀失效的判别） …… 166
三、LNG 燃烧、爆炸基本条件 …… 167
第五节　LNG 载货汽车涡轮增压器故障的判别处理 …… 170
一、涡轮增压器常见故障的模式 …… 170
二、涡轮增压器常见故障产生原因 …… 171
三、涡轮增压器常见故障的分析、判别处理 …… 173
四、判断处理涡轮增压器故障要点 …… 174
第六节　LNG 载货汽车漏气故障的判别处理 …… 175
一、泄漏的类别 …… 176
二、漏气故障现象 …… 176
三、漏气故障分析判断 …… 177
四、产生漏气故障原因及检查排除故障 …… 177
五、漏气检查方法 …… 178
六、漏气的处理 …… 178
七、管路泄漏常见故障及处理 …… 179
第七节　LNG 载货汽车一般故障的判别处理 …… 179
一、液位显示器、变送器的故障 …… 180
二、主要阀门的故障 …… 182
三、LNG 载货汽车散热不足的故障 …… 185
四、加不进液化气 …… 187
五、出气放空阀故障 …… 189

第八节　天然气温度高造成动力性下降的原因 …… 190
一、LNG 工作温度要求 …… 190
二、工作温度高故障处理 …… 190
第九节　LNG 载货汽车冷却系统故障的判别处理 …… 191
一、LNG 载货汽车冷却液温度过高故障的判别处理方法 …… 192
二、LNG 载货汽车冷却液温度过低故障的判别处理方法 …… 197
三、怎样正确使用、更换防冻液 …… 198
四、LNG 载货汽车冷却系统大循环打不开故障的判别处理方法 …… 201
五、LNG 载货汽车冷却液温度调节故障的判别处理方法 …… 202
六、LNG 载货汽车散热性能配置要求 …… 205
第十节　LNG 载货汽车出现异响故障的判别处理 …… 207
第十一节　LNG 载货汽车早期磨损故障的判别处理 …… 212
一、发动机早期磨损 …… 213
二、发动机冷却液温度低 …… 214
三、出现早期磨损后的表现特征 …… 215
第十二节　LNG 载货汽车机油压力过低故障的判别处理 …… 215
第十三节　LNG 载货汽车机油消耗严重故障的判别处理 …… 219
一、机油消耗严重故障表现形式 …… 219
二、故障分析判断 …… 219
三、产生故障原因及检查排除故障 …… 220
四、LNG 发动机不能选用汽油发动机、柴油发动机机油 …… 222
第十四节　LNG 载货汽车膨胀水箱“翻水”故障的判别处理 …… 222
第十五节　LNG 载货汽车冒“蓝烟”、“白烟”故障的判别处理 …… 227
一、冒“蓝烟” …… 227
二、冒“白烟” …… 229
第十章　怎样充加 LNG、确定续驶里程及进行经济性评定 …… 231
第一节　怎样初次充加 LNG …… 231
一、充加气前检查 …… 231
二、热瓶预冷（加气） …… 232
第二节　怎样常规充加 LNG …… 232
第三节　LNG 载货汽车怎样在行驶途中应急补充加气 …… 233
一、加气原理 …… 233
二、LNG 载货汽车缺 LNG 表现形式 …… 233
三、LNG 载货汽车缺 LNG 原因 …… 234
四、LNG 载货汽车补充 LNG（补充加气） …… 234
五、LNG 载货汽车补充 LNG 流程 …… 234
第四节　续驶里程的确定 …… 237
一、百公里耗气量运行试验 …… 237
二、百公里耗气量的测定 …… 238
第五节　经济性评定 …… 238
一、基本配置 …… 238
二、经济数据评定 …… 238
第十一章　LNG 载货汽车停用、存放及维修时的安全性 …… 240
第一节　LNG 载货汽车停用、存放 …… 240
一、存放的条件 …… 240
二、存放保管 …… 240
第二节　维修操作前的必备安全条件 …… 241
第三节　维修前的安全要求 …… 241
第四节　维修中的安全条件 …… 242
第十二章　LNG 载货汽车故障码显示与诊断 …… 243
一、故障判断步骤和技巧 …… 243
二、用故障诊断仪判别、处理故障 …… 243
第十三章　LNG 载货汽车供气部件校检及主要零部件间隙调整 …… 257
第一节　供气系统部件定期校检 …… 257
第二节　主要零部件间隙调整 …… 257
一、气门间隙调整 …… 258
二、曲轴轴向间隙调整 …… 258
三、压缩余隙检查 …… 259
四、活塞环开口间隙、侧隙、背隙检查 …… 260
五、离合器踏板自由行程的调整 …… 260
附录　符号及功能说明 …… 262

上篇

LNG 载货汽车、发动机的结构及基本特性



第一章 LNG载货汽车、发动机的特性



载货汽车一般都采用柴油发动机或者液化天然气（LNG）发动机，而不会采用汽油发动机。这是因为载货汽车对动力性的要求，而LNG载货汽车与柴油载货汽车的不同点，在于燃烧介质不同，本章主要介绍LNG载货汽车的特点及工作原理。

第一节　LNG载货汽车的基本特性

一、LNG载货汽车的特性

柴油载货汽车燃烧的介质为柴油，LNG载货汽车燃烧的介质是LNG气体，其发动机都属于内燃机，都是将燃料燃烧时产生的热能通过活塞、连杆的往复运动转变为曲轴的旋转运动，再通过发动机飞轮输出转矩。

由于燃烧介质不同，LNG发动机取消了柴油发动机特有的高压共轨、喷油泵、喷油器、输油泵、燃油箱及燃油管路等系统。

LNG发动机的供气系统由燃气低压过滤器、稳压器、低压电磁阀及低压管路、电控调压器（EPR阀）、环境传感器、氧传感器、防喘振阀、三元催化转化器、空气调压器以及电控废气旁通控制阀等零部件组成。

柴油发动机与LNG发动机燃烧介质不同，所以，两种发动机的电控系统也不相同。

LNG气体燃烧时，产生的有害排放物非常低，而动力性能指标却能满足载货汽车的要求，同时所耗燃料费用又比柴油载货汽车节约30%～50%。另外，LNG气体的燃点比汽油、柴油、压缩天然气（CNG）高很多，其自燃性、爆炸的可能性比汽油、柴油、CNG都更低，更具有安全性。因此LNG在载货汽车上得到了广泛应用。

随着国Ⅳ、国Ⅴ汽车环保政策的推出，由于柴油载货汽车所装用的柴油发动机的三元催化后处理装置结构复杂、制造成本高昂，会造成柴油载货汽车价格大幅增加，同时，由于国Ⅳ、国Ⅴ对柴油品质的要求更高，这也会造成柴油载货汽车的运营成本大幅增加。

柴油载货汽车发动机燃烧中有害排放物的控制，比LNG载货汽车发动机控制难得多；在发动机的燃烧过程中，LNG发动机燃烧中产生的排放有害物远比柴油发动机低。表1-1是国Ⅲ LNG汽车与国Ⅲ 柴油汽车排放物的比较。

表1-1　国ⅢLNG汽车与国Ⅲ柴油汽车排放物的比较

污染物	CO	HC	NO_x	CO_2	SO_2	C_6H_6	噪声
LNG载货汽车比柴油载货汽车减少	93%	73%	39%	24%	80	100%	40%

由于 LNG 汽车具有优异的排放性能，因此，LNG 汽车尾气排放采用三元催化装置就能很容易达到欧Ⅳ排放标准要求，而在欧Ⅳ三元催化装置基础上稍加改造，就能达到欧Ⅴ排放标准要求。此过程不需要另外增加发动机 SCR 系统、废气再循环装置，也不需要提高燃烧介质的要求。

由于上述特性，载货汽车采用 LNG 作为燃烧介质的应用前景非常好，目前，国内载货汽车已经批量装用 LNG 发动机，并且大批量出口。

二、LNG 载货汽车供气系统的特性

根据不同的续驶里程，不同的 LNG 载货汽车所配气瓶数量、气瓶规格大小也不相同，有单后置式气瓶、单侧置式气瓶、双后置式气瓶和双左右侧置式气瓶等多种形式。图 1-1 所示是 LNG 重型载货汽车的外形。



图 1-1　LNG 重型载货汽车外形

LNG 载货汽车燃气系统由整车气瓶供气系统、发动机供气系统两大部分组成，两大供气系统共同实现 LNG 发动机燃烧所需的燃气供给、控制要求。LNG 载货汽车燃气系统（单气瓶）如图 1-2 所示。

1. 气瓶供气系统的主要功能

将 LNG 转化成气态天然气，需要整车压力控制系统、整车安全控制系统、气瓶减压装置、整车增压系统和整车瞬时超负荷压力补偿系统等装置。

天然气气瓶主要由以下部件构成：液化气储存及进出气部件［气瓶总成、加液部件、出液部件、变送器（液位显示表）及进、出液管路］、气瓶减压系统（放空阀、经济调压控制阀）、安全控制系统（一级安全阀、二级安全阀、压力表及管路）、液化气汽化系统（汽化器、管路）和自增压系统（自增压阀调节、自增压回气阀、管路）。

2. 发动机供气系统的主要功能

发动机供气系统的主要功能是恒定供气系统压力在一定范围；根据汽车不同行驶条件，适时开启电子节气门，控制最佳空燃比，以满足汽车行驶速度、负荷要求；同时，采集不同负荷情况下发动机进气系统，增压器系统，排气系统，中冷器进出气温度，环境工作温度、湿度等数据，以优化天然气供气量，始终保证发动机在最佳状况下工作。

天然气发动机主要由以下部件组成：燃料供给系统（低压电磁阀部件、电控调压器部件（EPR 控制阀）、混合器部件和电子节气门）、点火系统（高压点火线圈、电子火花塞）、增压压力控制系统（废气旁通控制阀、防喘振阀、空气调压器）、各种压力和温度传感器和电子控制模块（ECM）。

3. 发动机天然气燃料的流程

经液化后的气态天然气从气瓶供气系统流出后，进入减压器（EPR），在减压器内将压力调整至发动机供气系统规定值后，经进气软管进入混合器，与来自空气滤清器过滤后的洁净空气混合后，经发动机进气管进入电子节气门，再进入发动机燃烧室进行燃烧，如图 1-3 所示。

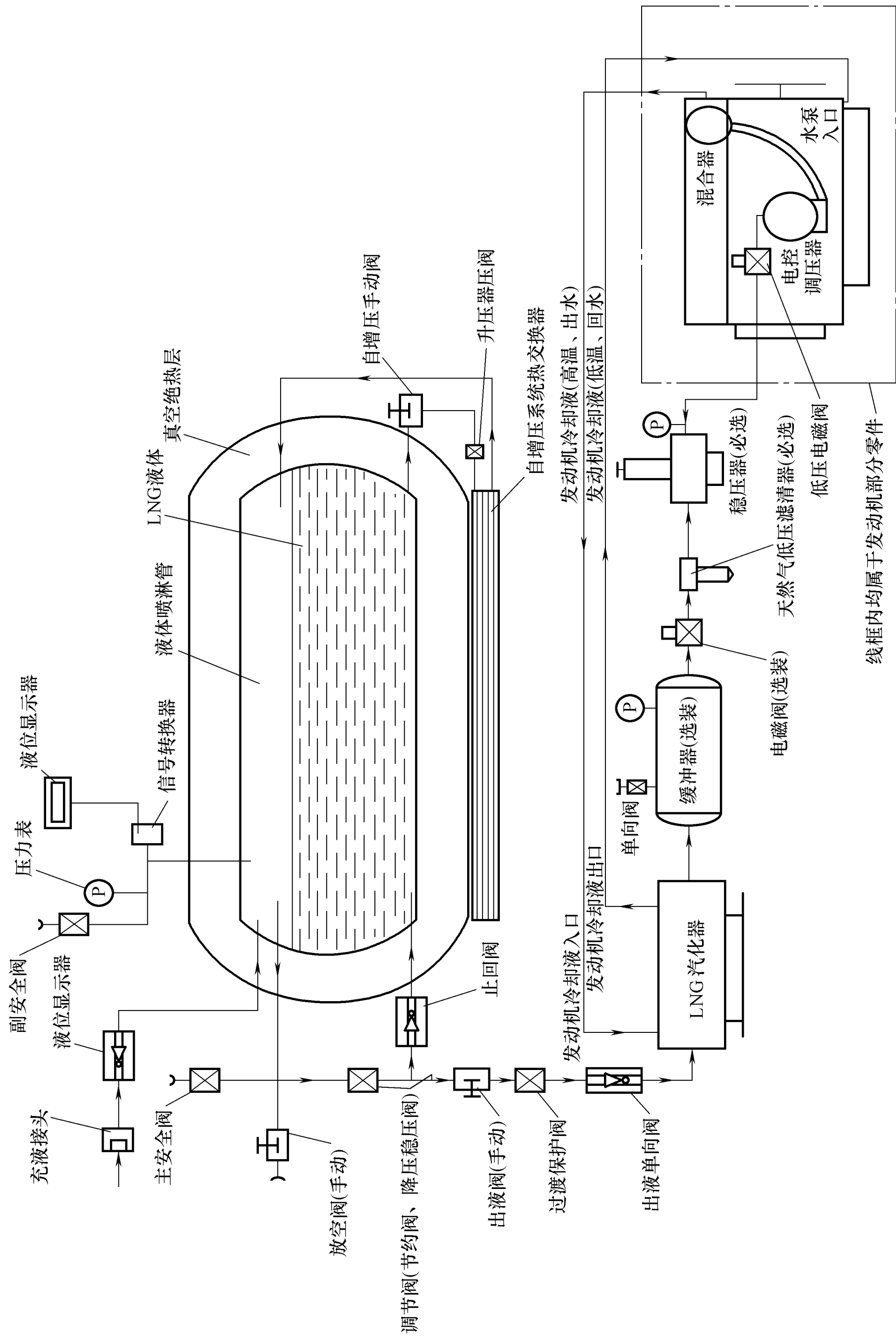


图 1-2　LNG 载货汽车燃气系统

1—液态天然气管　2—气态天然气管　3—气瓶混合态天然气管　4—发动机出水管　5—发动机进水管

LNG 汽车在起动之前，先打开气瓶出液阀，气瓶里的液化气在气瓶内压力的作用下，经出液阀及其管路，将 LNG 送到汽化器汽化成气态天然气。发动机气瓶设置不同，压力也不同。气瓶的压力用经济阀来控制：当气瓶内压力高于经济阀（Er）设定的压力时，经济阀（Er）开启，气瓶顶部气相空间的饱和蒸气通过经济阀（Er）进入供气管路，此时出液单向阀（DCV）基本处于关闭状态；当瓶内压力逐渐降低至经济阀（Er）的设定压力时，经济阀（Er）关闭，又回到液体供应状态。

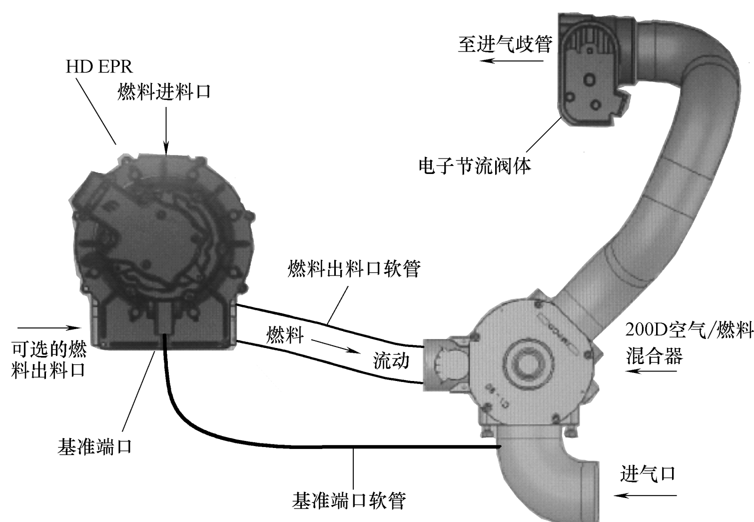


图 1-3　天然气发动机燃料的流程

4. LNG 转化为气态天然气

LNG 储存温度为 -162℃，当其温度上升至约 -113℃（对纯甲烷）或 -82℃（对甲烷蒸气）时，气体密度小于环境空气密度，形成蒸气和空气的混合物。当温度相差悬殊的两种液体接触时，LNG 会产生快速的相态转变，由液化气转变为气态天然气。

LNG 的储存温度与其储存瓶内的压力有关：当瓶内的压力为 0.65～1.35MPa 时，液化气的温度为 -130～-120℃；当瓶内的压力上升至 1.75MPa 时，液化气的温度会上升至 -110℃左右。

由于 LNG 在汽化器里通过汽车散热器的热水来加热，并汽化成气态天然气，将 LNG 在低温基础上提高至汽化加热温度的过程中，LNG 将转变为气态天然气，所以，汽化器的安装位置不能高于汽车散热器的顶部，否则会导致散热器的热水不能完全流经汽化器，造成汽化器结冰冻裂、液化气汽化不良现象。

正常情况下，气瓶的最小工作压力不能低于发动机供气系统要求的工作压力。中、轻型载货汽车发动机的工作压力范围为 0.65～1.35MPa，重型载货汽车的工作压力高于轻型载货汽车，要求为 0.86～1.35MPa。若重型载货汽车气瓶的工作压力小于 0.86MPa，会出现发动机供气不足，造成动力性下降，并且导致发动机三元催化器烧结等现象。

LNG 是将天然气经脱硫、脱水、脱重烃和脱酸性气体等一系列技术加工处理，并采用深冷处理技术，将天然气冷却到 -162℃，在常压下为液态的一种天然气。在净化处理、深冷生产过程中，非烃类成分及一些非甲烷烃类成分通常都要被去掉，这样经净化处理、深冷

生产后的 LNG 燃料基本上都是纯度很高的烷烃，主要成分为 CH_4（甲烷）和 C_2H_6（乙烷），其成分比 CNG 的成分更纯净，CH_4（甲烷）含量进一步提高，可以达到 96% 以上。

由于 LNG 脱除了硫和水分，其成分比 CNG 还要纯净，因而 LNG 汽车燃烧时产生的有害成分，比柴油载货汽车低很多，甚至比 CNG 汽车还要低。试验表明：与燃油汽车相比，LNG 汽车尾气中 CO（一氧化碳）减少 97%，HC（碳氢化合物）+ NO_x 减少 72%，CO_2（二氧化碳）减少 90%，噪声减少 40%，C_6H_6（苯）铅粉尘等减少 100%。

5. LNG 的燃烧

这样高纯净的燃料，不仅给 LNG 发动机提供了稳定可控制的空燃比，使发动机的工作性能得到了优化，而且发动机燃烧平衡，避免了发动机的爆燃，动力性更好。与柴油发动机、汽油发动机相比，LNG 发动机的颗粒排放物几乎为零，不需要对发动机尾气进行深处理，就很容易达到国Ⅳ、国Ⅴ排放要求。

同时，避免了燃油发动机在燃烧过程中，产生的机油和炭粒等有害杂物，同时还避免了发动机供油系统的损坏或者堵塞的可能性。LNG 燃料不产生积炭，无污染杂质，且减少了发动机零部件的腐蚀和磨损，提高了发动机的可靠性，大大延长了发动机的使用寿命。

LNG 燃点高达 650℃，比汽油燃点 427℃高出了很多（柴油燃点为 220℃），因此，LNG 发动机如同汽油发动机一样，也采用电子点燃着火方式，将较低的电源电压变换成高直流电压，通过高压电子点火线圈、火花塞放出火花，点燃天然气与洁净空气的混合气。

与 LNG 发动机燃烧相关的零部件结构会有一定的变化，而发动机的主要结构与柴油发动机、汽油发动机基本相同。LNG 发动机气缸体总成、气缸盖总成、曲柄连杆机构、配气机构、润滑系统、冷却系统和起动系统等机构与柴油发动机、汽油发动机完全相同，而燃料供给系统、点火系统则与柴油发动机、汽油发动机不同。

第二节　LNG 发动机的基本特性

一、LNG 发动机的动力特性

LNG 载货汽车采用直列、水冷、四冲程发动机，并加装水冷式涡轮增压器。LNG 发动机外形如图 1-4 所示。与柴油发动机相比，在重载上坡时柴油发动机的爆发能力强于 LNG 发动机，柴油发动机做功时产生的热效率高，因此，LNG 发动机的动力性稍差于柴油发动机；在平坦路面上行驶时，LNG 发动机动力性与柴油发动机差异不大。LNG 发动机动力性优于汽油发动机。

LNG 发动机配装载货汽车时，往往动力性表现比柴油载货汽车稍差，其主要原因如下：

1）由于天然气的主要成分甲烷的火焰传播速度比柴油低，使 LNG 发动机总燃烧期增长，造成气缸内压力和温度上升缓慢，导致 LNG 发动机的爆发压力稍差。

2）以天然气作为燃料，燃料本身的体积在整个进气中占有较大的比例，导致进入气缸的进气量减少，充气系数下降，与柴油发动机相比空燃比相应减小。

3）天然气与空气形成的混合气热值比柴油与空气形成的混合气热值低 10.5%。

具体表现在：LNG 载货汽车与柴油载货汽车相比，在同一档位、同一载质量情况下，爬长坡时其动力略显不足，必须降一档上坡。但在平坦路面上行驶时，其动力与柴油载货汽车基本相当。

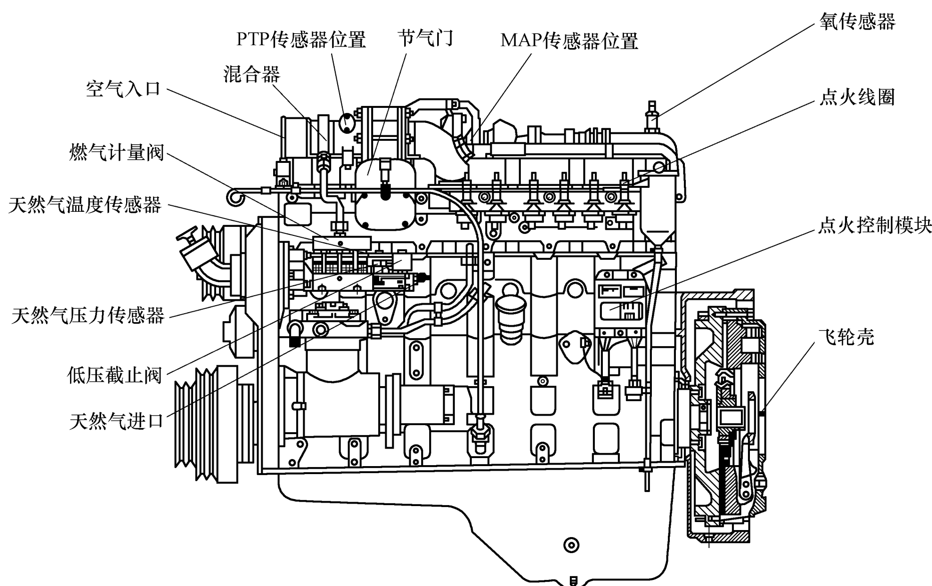


图 1-4　LNG 发动机外形

1. 发动机的动力性指标

1）有效功率：指发动机通过曲轴或飞轮对外输出的功率，通常用 P_e 表示，单位为 kW。有效功率等于有效转矩和曲轴转速的乘积。发动机的有效功率可在专用的试验台上用测功器测定，测出有效转矩和曲轴转速，然后用下面公式计算出有效功率：

$$P_e = M_e n / 9545.45$$

式中，M_e 为有效转矩，单位为 N · m；n 为曲轴转速，单位为 r/min。

发动机的有效功率往往是指发动机产品铭牌上标明的功率，称为额定功率，此时相应的曲轴转速也称为发动机的额定转速，或者称为发动机的最高转速。

2）发动机的有效转矩 M_e　LNG 发动机、柴油发动机、汽油发动机表示方式均相同。发动机通过飞轮输出传递给变速器再传给汽车驱动桥的转矩，称为发动机的有效转矩。由于发动机在运行中，在不同的转速下会产生不同的转矩，所以衡量发动机的转矩时，往往以发动机的最大转矩来表征发动机输出动力的优劣，而发动机的最大转矩转速区域，往往是在汽车的经济车速区域内。

$$M_e = P_e \times 9545.45 / n$$

式中，P_e 为有效功率，单位为 kW；n 为曲轴转速，单位为 r/min。

LNG 发动机的输出转矩与发动机燃烧时的工作压力、LNG 供气系统的工作压力、混合气的混合质量密切相关。若 LNG 供气系统的压力较小，则会造成天然气供气不足，发动机燃烧时不能产生相应的有效转矩。

LNG 发动机混合气质量不好，也会造成发动机燃烧不充分，从而影响发动机有效转矩的大小，而混合气质量的好坏，又与发动机供气系统压力有直接的关系。发动机供气压力较小，

使进入混合器的气态 LNG 密度不够，与经空气滤清器过滤后的洁净空气混合后，形成的空燃比不能达到 LNG 发动机燃烧做功所需要的密度，造成 LNG 发动机输出有效转矩偏小。

保持 LNG 供气系统足够的压力，是保证 LNG 发动机达到额定有效转矩的重要条件之一。

发动机通常在部分负荷下工作，汽车行驶中常用的最大转矩，就是发动机在部分负荷状态下工作时发出的有效转矩。

2. 发动机的负荷特性

1）发动机的速度特性：发动机的速度特性是指发动机的性能指标 N_e、M_e、g_e 随发动机转速 n 变化的规律。其常用曲线表示，因此称为速度特性曲线。速度特性可以在发动机试验台上测得，在节气门开度保持不变时，用测功器对发动机曲轴施加一定数值的阻力矩。当发动机运转稳定时，即阻力矩和发动机发出的有效转矩相等时，可用转速表测出此时的稳定转速，同时在测功器上测出该转速下的有效转矩 M_e，计算出有效功率 P_e。另外还可测出消耗一定天然气所经历的时间，换算成每小时耗气量，然后计算出有效燃气消耗率 g_e。改变测功器的阻力矩数值，重复上述过程，又可以得出一组 n、M_e、P_e、g_e，这样重复若干次，就可以得到一系列的 n、M_e、P_e、g_e，然后根据这些数据，以转速 n 为横坐标，以性能指标 M_e、P_e、g_e 为纵坐标做出三条曲线，即为相对应于该节气门开度的速度特性曲线。

2）发动机的外特性：节气门全开时的速度特性叫发动机的外特性，节气门不全开在其他任意位置所得到的速度特性称为部分特性。发动机的外特性代表了发动机所具有的最高动力性能。

发动机的动力指标经常用速度特性、万有特性或外特性来表示，图 1-5 所示是 LNG 载货汽车所用 WP10NG336E40 天然气发动机的外特性曲线，其中曲线左边纵坐标表示发动机的有效转矩，单位为 N · m，曲线右边纵坐标表示发动机的有效功率和燃气消耗，单位分别为 kW 和 g/kW · h，曲线下边坐标表示发动机的转速，单位为 r/min。

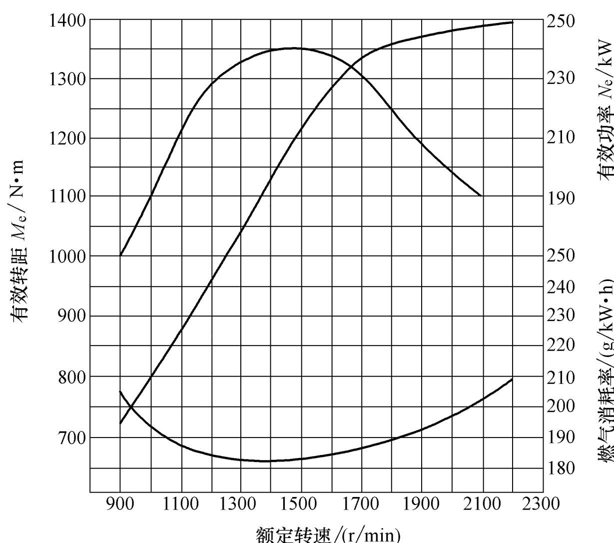


图 1-5　WP10NG336E40 天然气发动机外特性曲线

二、LNG 发动机的经济性能指标

柴油发动机、汽油发动机通常用燃油消耗率来评价其经济性能。燃油消耗率是指单位时间内有效做功的燃油消耗比值，也就是发动机每发出 1kW 有效功率在 1h 内所消耗的燃油质量（以 g 为单位）。

LNG 发动机则用燃气消耗率来表示、评价其经济性能。燃气消耗率是指单位时间内有效做功的燃气消耗比值，也就是发动机每发出 1kW 有效功率在 1h 内所消耗的燃气质量（以 g 为单位）。

1. LNG 发动机的经济性评定

LNG 发动机的经济性能指标，在发动机试验台架上用 g/ kW · h 来表示，在实际载货汽车行驶中，往往用 L/100km 或者 m^3/100km 来评价。燃气消耗率通常用 G_t 表示。

无论是柴油发动机、汽油发动机，还是 LNG 发动机，其燃油、燃气消耗率单位均为 g/ kW · h，计算公式都用下式表示：

$$g_e = 1000 \times G_t / P_e$$

式中　G_t 为每小时的燃油消耗量，单位为 kg/h；P_e 为有效功率，单位为 kW。

从上式可看出，有效燃气（油）消耗率越小，表示发动机曲轴输出净功率所消耗的燃气（油）量越少，其经济性越好。

燃气（油）消耗率一般有三种：额定功率燃气（油）消耗率、最大转矩燃气（油）消耗率、外特性最低燃气（油）消耗率。通常发动机铭牌上给出的有效燃气（油）消耗率是指外特性最低燃气（油）消耗率。

上述燃气（油）消耗仅仅是发动机在台架上测试衡量的指标，下面以柴油、LNG 的热值来进行比较。

天然气低热值为 36.22MJ/m^3，0 号柴油低热值为 38.44MJ/L。如果不考虑燃烧效率，单从热值上来算，1m^3 天然气相当于 0.942L 柴油。虽然天然气的热值较高，但天然气与空气形成混合气的热值比柴油的混合气热值低约 10.5%，这是功率下降的主要原因。天然气作燃料时，燃料本身的体积在整个进气中占有较大比例，因此导致进入气缸的空气量减少，充气系数下降。天然气主要成分甲烷的火焰传播速度比柴油低 12%，使发动机总燃烧期增长，造成气缸内压力和温度上升缓慢，致使发动机动力下降。

根据 LNG 汽车运行数据统计，同排量发动机在使用天然气作燃料时，最高功率一般要下降 10% ~15%，1m^3 天然气进入发动机燃烧后产生的热值相当于 0.75 ~0.8L 柴油燃烧的热值。现在普遍水平为 0.75L，即 1m^3天然气与 0.75L 柴油产生的动力相当（1L 柴油相当于 1.3m^3 天然气，1m^3 天然气相当于 0.626kg 柴油）。

LNG 气体与柴油热值比较见表 1-2。从表 1-2 可看出，LNG 气体比柴油热值略低。对两种燃料热值进行比较，有助于行驶里程燃料的换算，这对于载货汽车续驶里程的确定十分重要。

因此，不同气源地 LNG 气体与柴油热值、重量换算值不一样（不考虑不同发动机的影响）。通常说的 1:0.75 到 1:0.8 的前提，是以天然气热值 36.22MJ/m^3、柴油热值 38.44 MJ/L 为基础。

表 1-2　我国主要气源地 LNG 与柴油的热值及重量换算关系

序号	气源地	平均热值 /(kJ/m³)	热量换算关系 /(m³/t)	天然气替代柴油/(L/m³)	柴油与天然气替代比例 /(m³/L)	重量换算关系 /(L/ m³)	柴油与天然气替代比例 /(m³/L)
1	沁水新奥	32. 93	1480	0. 682	1. 467	0. 727	1. 375
2	星星能源	34. 05	1450	0. 705	1. 418	0. 752	1. 330
3	宁夏清洁	32. 86	1496	0. 680	1. 470	0. 726	1. 378
4	福建海油	38. 97	1440	0. 807	1. 239	0. 861	1. 162
5	上海管网	41. 13	1350	0. 852	1. 174	0. 908	1. 101
6	新疆广汇	40. 35	1369	0. 836	1. 197	0. 891	1. 122
7	北海新奥	40. 4	1325	0. 837	1. 195	0. 892	1. 121
8	深圳大鹏	40. 39	1352	0. 836	1. 196	0. 892	1. 121

注：LNG 气源地不同，热值和组分也不同。内蒙古、山西、宁夏等地生产的 LNG 热值普遍较低，与进口 LNG 及广汇/北海生产的 LNG 相比，每 $1m^3$ 热值低 10% 以上，宁夏与上海比较热值最大差 20%。即使同一气源地不同时段的 LNG 热值和组分也有变化，这是因为环境温度的差异所致（环境温度高，单位体积里气体密度小）。

2. LNG 发动机的经济性综合评定

除去上述燃气消耗率表示方法外，实际上 LNG 发动机经济性能指标的优异性，还在于 LNG 发动机的价格比柴油发动机、汽油发动机低，而且 LNG 的价格也比柴油、汽油价格低很多（地区不同，价格差异也不相同）。以金华青年 JNP4250N　LNG 载货汽车（牵引汽车）和金华青年 JNP4250N 柴油载货汽车（牵引汽车）相比较，同一类载货汽车在相同的载质量、行驶同一路线（相同路况）的情况下，仅仅计算燃料经济效益，每 100km 就可节省燃料费用 30% 左右，其燃料消耗对比见表 1-3 。

表 1-3　LNG 载货汽车、柴油载货汽车 100km 耗气量试验数据

车型	整车配置	行驶路况	载质量	行驶里程	燃油/燃气耗	燃油/燃气价
JNP4250N LNG 牵引载货汽车	WP12380NE 发动机 12JS200T 变速器 德国曼桥	崎岖工地、柏油路	120 ~ 140t	643km	308kg	5. 7 元/kg
JNP4250 柴油牵引载货汽车	WP12380E 发动机 12JS200T 变速器 德国曼桥	崎岖工地、柏油路	120 ~ 140t	255km	161L	6. 58 元/L

对于 JNP4250N LNG 牵引载货汽车、JNP4250 柴油牵引载货汽车进行燃气消耗、燃油消耗经济性道路对比试验，试验路线在山东寿光地区进行，行驶路况为上坡、下坡、平坦路面、建筑崎岖工地，除建筑崎岖工地路况较差外，其余均为柏油路面。平均载荷为 120 ~ 140t，运输货物为建筑所用泥沙、泥土等材料。

JNP4250N LNG 牵引载货汽车试验里程 643km，消耗燃气 308kg，燃气消耗 47. 9kg/100km，燃气价格 5. 7 元/kg，100km 燃气耗费用 273 元。

JNP4250 柴油牵引载货汽车试验里程 255km，消耗燃油 161L，燃油消耗 63. 13L/100km，燃油价格 6. 58 元/L，100km 燃油耗费用 415. 39 元。

对比上述试验结果：JNP4250N LNG 牵引载货汽车比 JNP4250 柴油牵引载货汽车 100km 节约燃料费用 142.36 元，燃料消耗费用节约 34.28%。

由于车用发动机的使用特性，很少长期在最高转速、最大功率工况下持续工作，所以车用发动机的标定功率，往往以 15min 功率来评定，一般发动机的功率，都是指最高转速（标定转速）时的功率。

LNG 发动机的动力性能，重载在平坦的公路上行驶时，基本与柴油发动机相当；在重载上坡时，由于柴油发动机燃烧中产生的爆发力较强，因此，LNG 发动机的动力性能略差于柴油发动机。

LNG 发动机的动力性能，无论是重载在平坦的公路上行驶，还是在重载上坡时，均优于汽油发动机，这是由于 LNG 发动机燃烧时的热效率比汽油发动机高。

第三节　LNG 发动机的燃烧介质

LNG 气态为无色、无味，主要成分是甲烷，很少有其他杂质，是一种非常清洁的能源。其液体密度约为 426kg/m^3，经过除液、除酸、干燥、分馏和低温冷凝形成，体积缩小为原来气态的 1/625。燃点高达 650℃。

一、LNG 的汽化

LNG 发动机的燃烧介质，是通过汽化器将 LNG 进行加热升温汽化后，变成气态天然气，经低压燃气滤清器过滤，稳压器将气态天然气压力恒定在发动机需要的压力，再经电控调压器、供气管路，送入发动机混合器与洁净空气混合。

LNG 发动机要求供气压力不得小于 0.65MPa，重型载货汽车的供气压力为 0.86 ~ 1.35MPa，天然气温度为 -20 ~ 45℃。为了保证不同功率发动机燃烧所需气体流量，汽化器标定流量必须按发动机功率进行匹配，而汽化器流量的大小，直接影响到 LNG 的汽化速度和汽化温度，只有匹配合适的汽化器，才能满足发动机的工作要求。表 1-4 是载货汽车发动机与汽化器流量匹配的推荐值。

表 1-4　发动机与汽化器流量匹配

序号	发动机功率/kW	LNG 汽化器流量/(m^3/h)	序号	发动机功率/kW	LNG 汽化器流量/(m^3/h)
1	110	25 ~ 30	6	191	55 ~ 65
2	125/132	30 ~ 40	7	213	60 ~ 70
3	140	35 ~ 45	8	235	65 ~ 75
4	155	40 ~ 50	9	250	70 ~ 80
5	169	50 ~ 60	10	276	80 ~ 90

汽化器加热 LNG 所需的热水，采用发动机散热器里的冷却液。通过加热 LNG，既有效利用了散热器里的冷却液的热量，同时又降低了散热器内的冷却液温度。

二、LNG 发动机的进气压力控制

气体密度随着压力大小而变化。同样，LNG 在汽化过程中也会产生压力。发动机与气瓶

供气系统压力的合理匹配，会对 LNG 发动机的燃烧带来很大的影响：供气压力低，气体密度小，供气量不足，发动机燃烧稀薄混合气；供气压力高，混合气燃烧不完全，会形成爆燃。

1. 燃烧压力低

LNG 载货汽车燃烧系统的压力为 0.65～1.35MPa，实际上重型载货汽车发动机的供气压力一般在 0.85MPa 以上。与国Ⅲ柴油载货汽车 160MPa、国Ⅳ柴油载货汽车 180MPa 的供油压力，CNG 的 20MPa 供气压力相比，LNG 载货汽车燃烧系统的压力要低很多。CNG 供气压力需要经过高压、低压二级减压，方能达到发动机的工作压力要求，而 LNG 供气系统无需经过降压的过程，气瓶的经济阀按照发动机工作压力要求，提供的压力可直接适应发动机的工作压力要求。

在 LNG 发动机供气系统中，由于供气系统压力较低，对供气系统控制阀门及其连接管路的可靠性、密封性均不会有很高的要求，对发动机燃烧时形成的涡流混合气流，也无需较高的要求。

LNG 发动机的进气压力控制系统由废气旁通控制阀、空气调压阀、防喘振阀及其管路组成，LNG 发动机进气压力的控制如图 1-6 所示。

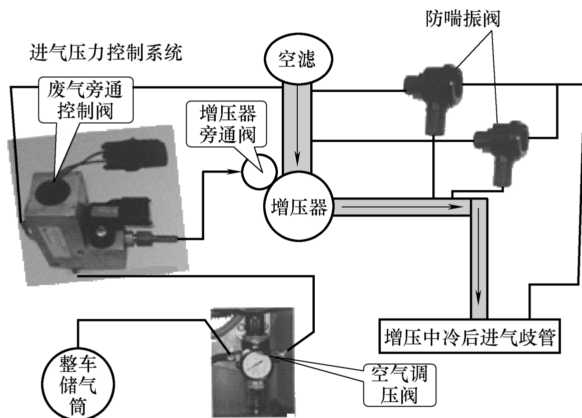


图 1-6　LNG 发动机的进气压力控制

2. 废气旁通控制阀

发动机使用废气旁通控制阀来控制涡轮增压器的旁通阀执行器，从而控制增压压力，提高发动机的动力性、经济性和瞬态动力响应性。气源来自于 LNG 载货汽车储气瓶。

废气旁通控制阀的安装示意如图 1-7 所示，废气旁通控制阀管路连接如图 1-8 所示。

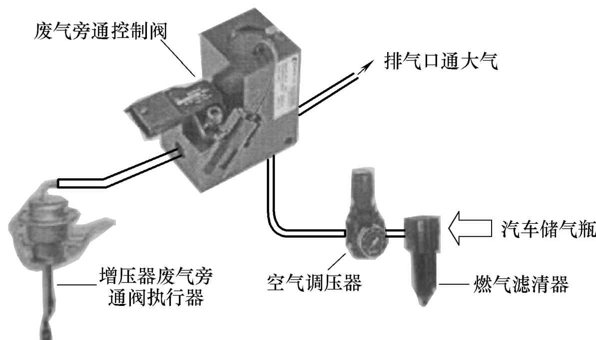


图 1-7　废气旁通控制阀的安装示意

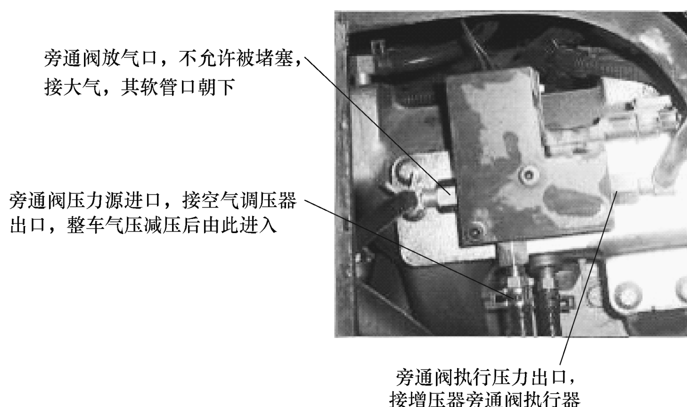


图 1-8　废气旁通控制阀管路连接

3. 空气调压阀

发动机的涡轮增压器使用废气旁通控制阀控制增压压力。为避免供气压力波动影响发动机性能，要求此气源必须来自于汽车储气瓶。

来自 LNG 载货汽车储气瓶的低压气体，通过一内径为 ϕ5mm 的气管接至空气调压阀，经空气调压阀压力恒定后，再通过一内径为 ϕ5mm 的气管输送至废气旁通控制阀，然后输入涡轮增压器旁通阀，从而达到控制涡轮增压器压力之目的。空气调压阀管路的连接如图 1-9 所示。

该控制阀工作压力为 160kPa（表压），通过一内径为 ϕ5mm 的气管接至旁通控制阀进气口，废气旁通控制阀安装在进气管后端。旁通控制阀放气口通过一内径为 ϕ5mm 的软管连至大气，软管开口朝下并固定。

空气调压器技术要求：

1）最大压力：1.0MPa，可调节的范围：0.05 ~0.9MPa。

2）流量：>3000L/min。

3）介质温度范围：5 ~60℃。

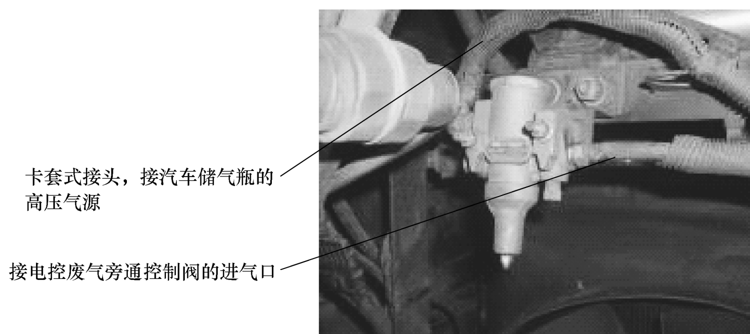


图 1-9　空气调压阀管路的连接

4. 防喘振阀

减速时，电子节气门关闭，进气歧管内的压力叠加后突然大幅升高，此时，防喘振阀把压力释放，防止涡轮增压器叶片因超速喘振而损坏。防喘振阀共两个，其管路连接方式如图

1-10 所示。防喘振阀的管路连接不可接反，否则会损坏涡轮增压器总成。

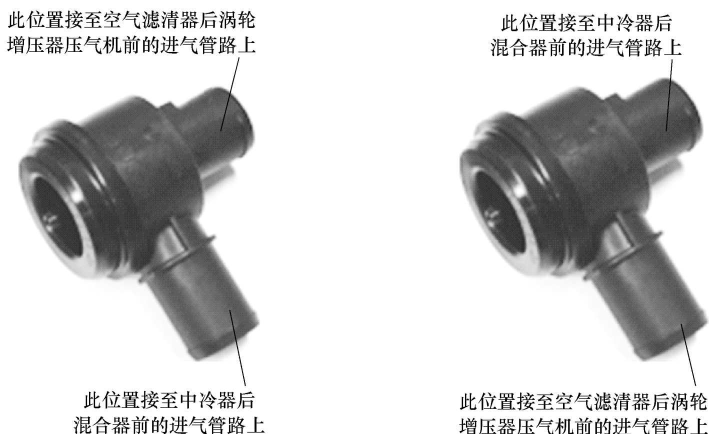


图 1-10　防喘振阀的管路连接方式

第四节　气态天然气的混合与控制

LNG 是在超低温常压状态下进行液化，经过净化处理后再进行压缩、升温，在混合制冷剂氮气（N_2）的作用下冷却，移走热量，并经节流膨胀而成为液态天然气。在标准大气压常温状态下，其体积约为同量气态天然气的 1/625，绝热容器里压力为 0.05 ~0.5MPa。在天然气的液化过程中，几乎完全去除了硫、水等杂质。

由于 LNG 是液态，不能直接进入发动机燃烧室与洁净的空气混合燃烧，而必须将 LNG 加热汽化，转变为气态天然气，才能与洁净的空气混合。所以，LNG 发动机工作时，必须将从 LNG 气瓶、输气管道输送到汽化器的液化气经汽化后，转变为气态天然气，再经输气管、低压燃料滤清器、发动机的低压电磁阀、电控调压器、燃料混合器和电子节气门进入发动机，经电子火花塞点火燃烧。

同时，一旦气瓶里的压力超过经济阀的开启压力后，气瓶里被汽化了的气态天然气，也会经过经济阀及其管道进入发动机混合器，与经过空气滤清器过滤的洁净空气混合后，进入发动机燃烧室进行燃烧做功。

> 一般要求：发动机的 LNG 进气温度为 -20 ~45℃，进气温度过低或者过高，都会影响到 LNG 发动机的进气量、空气与燃料的混合比，从而影响到 LNG 发动机的动力性能、经济性能。

一、LNG 发动机燃料的混合

LNG 发动机燃料的混合在进气管与气缸之间的混合器里进行，电子控制系统（ECU）根据发动机的燃烧特性发出控制指令，由电控调压方式来调节控制天然气量，从而达到发动机燃烧所需要的混合比。

由于 LNG 发动机燃料的特性，其着火燃烧方式与柴油发动机不同：柴油发动机的压缩

比为 15～18，是靠压缩柴油到自燃临界点而着火燃烧的。柴油发动机对燃烧气体的形成、混合，要求气体旋流较大，以便于柴油与经过空气滤清器过滤的洁净空气充分混合，从而达到柴油的自燃温度，提高发动机的动力性。

而 LNG 发动机由于天然气的着火温度较高，无法依靠压缩点燃，而只能采取电子点燃着火，所以对天然气与过滤后的洁净空气形成的混合气的旋流要求不高，发动机的压缩比较低，而且初期着火只能通过高压电子火花塞点燃混合气体，由电子节气门控制混合器的流量，低压电磁阀切断或者开启进气通道，电控调压器控制天然气的压力，从而达到控制空燃比的目的。

混合器结构如图 1-11 所示，它将天然气和经空气滤清器过滤并经中冷器冷却的洁净空气充分混合，达到最佳空燃比，从而使燃烧更加充分，柔和，避免燃烧时产生爆燃。同时，由于混合充分，更有利于降低排气温度，有利于降低氮氧化物（NO_x）的排放。

二、LNG 发动机混合燃料的控制

电子节气门结构如图 1-12 所示，它通过控制节气门开度的大小，调整控制进入气缸内混合气的流速，并通过电控调压器，采取电控调压方式来调节控制天然气流量，从而控制发动机的转速、负荷。驾驶人可通过电子加速踏板将动力需求传送给 ECU，ECU 接收加速踏板的信号后，根据发动机的运行工况控制节气门开度，从而控制怠速转速和发动机的调速特性。

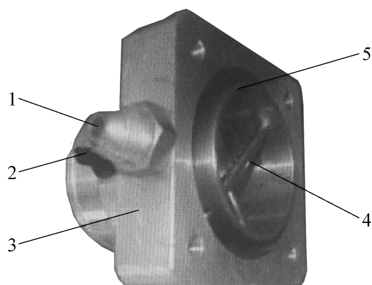


图 1-11　混合器结构

1—燃气接头　2—放气接头　3—混合器体
4—喷射管　5—喉管

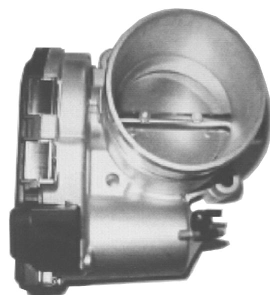


图 1-12　电子节气门结构

电子节气门根据 ECU 的指令，发出三种控制状态指令。

怠速控制：当发动机转速低于设定的怠速转速时，ECU 发出指令，增大节气门开度，使节气门开度满足发动机怠速限定值要求。

常用转速控制：当发动机转速在怠速和额定转速之间时，节气门开度直接由电子加速踏板控制，即驾驶人直接控制节气门开度。

额定转速控制：当发动机转速高于设定的额定转速时，ECU 发出指令，减小节气门开度，使节气门开度满足发动机转速不超过额定转速的限定值要求。发动机的转速越高，节气门开度越小。

电子加速踏板结构如图 1-13 所示，驾驶人根据不同路况、负载，通过其发出控制发动机动力、负载特性要求的信号，ECU 接收信号后，将其转换成电子节气门开度信号，节气

门从 ECU 处收到开度信号后，将节气门的实际开度反馈给 ECU。

三、LNG 发动机的点火

柴油发动机是依靠发动机的高压缩比，将柴油压缩到燃烧的临界温度而自燃的，汽油机是靠火花塞来点燃汽油着火燃烧的，而天然气由于着火温度高，无法像柴油发动机一样采用压燃式点火，只能依靠火花塞点燃混合燃料。



图 1-13　电子加速踏板结构

现在 LNG 载货汽车普遍采用无分电器的点火系统，将来自点火线圈的高压电直接分配给火花塞（火花塞结构如图 1-14所示），火花塞接收来自点火线圈的高电压（点火线圈结构如图 1-15 所示），并通过火花塞瞬时产生电火花，从而点燃天然气。

安装火花塞时，应用专用工具按规定力矩拧紧，并在火花塞头部涂抹导电膏，在胶套部位与火花塞接触的陶瓷部位涂抹绝缘润滑油脂，以防止胶套老化导致火花塞与气缸盖之间接触金属导电。



图 1-14　火花塞结构

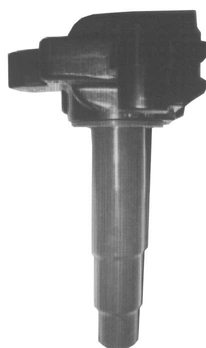


图 1-15　点火线圈结构

第五节　LNG 发动机的燃烧和有害物的排放

一、LNG 发动机的燃烧

当气瓶内的压力为 0.65 ~ 1.35MPa 时，LNG 发动机天然气的进气温度为 -20 ~ 45℃。如进气温度太高，可能会导致发动机爆燃，从而使发动机有效功率难以得到最大程度的发挥；若进气温度太低，则会导致发动机严重喘振或熄火。在气瓶供气压力稳定的情况下，供气温度直接影响到 LNG 气体燃料的密度，从而影响进入发动机的燃烧气体质量，进而影响发动机的有效功率发挥。因此 LNG 的汽化能力优劣，直接关系到发动机的动力性，在配置汽化器时，汽化能力的确定与选型就显得尤其重要。

除此之外，LNG 气体的燃烧性能还与供气系统的压力有密切关系：气瓶压力随着气瓶的温度升高而增高，当气瓶的压力高于发动机供气系统的压力要求后，发动机供气量充足，

天然气与经空气滤清器过滤后的洁净空气充分混合，在发动机燃烧过程中燃烧充分，发动机的动力性好，经济性优（耗气量低）。所以载货汽车，尤其是重型载货汽车，在使用中，往往将气瓶的出厂供气压力设定为高于发动机设定压力值0.5～1.0MPa，这样更有利于保证汽车的动力性，同时也能节省燃气耗。

由于 LNG 气体脱除了硫和水分，因而 LNG 汽车燃烧时产生的有害成分，比柴油汽车、汽油汽车、CNG 汽车均要低。因此，LNG 发动机的燃烧工作特性得到了进一步优化，发动机燃烧平衡，避免了发动机的爆燃，动力性更好，与柴油发动机、汽油发动机相比，颗粒排放物几乎为零。

LNG 气体燃点 650℃、柴油燃点 220℃、汽油燃点 427℃，LNG 气体比柴油、汽油燃点高出了很多，因此 LNG 发动机燃烧后的排气温度，比柴油发动机、汽油发动机的排气温度都会相应有所提高。试验表明，同一规格型号的 LNG 发动机与柴油发动机相比，LNG 发动机比柴油发动机排气温度会高 100～150℃。

二、LNG 发动机燃烧有害物的排放

汽油、柴油汽车燃料排放物的主要成分是碳氢化合物，在燃烧完全的情况下，理论上的燃烧产物应当是二氧化碳（CO_2）、氢氧化合物（H_2O），还有空气中未使用的氮气和余下的氧气，也就是氮氧化物（NO_x）。但是实际上，燃料中含有少量的杂质，而且燃料所含杂质在燃烧过程中也很难做到完全燃烧，因此，就增加了排气中的其他有害成分，主要是 PM、NO_x、HC 和 CO。表 1-5 是国内某排量为 10L 的国Ⅲ柴油发动机的有害排放物成分，其中试验以 ETC 试验——瞬态循环试验方式进行。

表 1-5　柴油汽车的排放物（ETC 试验）

10L 柴油发动机	项目	CO/[g/(kW·h)]	THC/[g/(kW·h)]	CH_4/[g/(kW·h)]	NO_x/[g/(kW·h)]	PM/[g/(kW·h)]
	标准要求	4.0	0.55	1.1	3.5	0.03
	实测值	0.54	0.076	—	2.91	0.025

相比之下，LNG 发动机的废气排放几乎不产生污染物，无烟色，没有颗粒排放。以国内某 8L 国ⅢLNG 发动机为例，从表 1-6 中可以看出，LNG 发动机的排放物成分主要有 CO（一氧化碳）、NMHC（非甲烷烃）、CH_4（甲烷）和 NO_x（氮氧化物）。

表 1-6　LNG 发动机的排放物（ETC 试验）

8L LNG 发动机	项目	CO/[g/(kW·h)]	NMHC/[g/(kW·h)]	CH_4/[g/(kW·h)]	NO_x/[g/(kW·h)]
	标准要求	4.0	0.55	1.1	3.5
	实测值	0.93	0.033	0.77	2.64

无论是柴油发动机还是 LNG 发动机对排气污染物的检测标准，均按照 GB 17691—2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法（中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段）》和 HJ 438—2008《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排放控制系统耐久性技术要求》的规定执行。

GB 17691—2005 规定，在我国第Ⅲ阶段，对于安装了先进的排气处理装置，包括 NO_x 催化器和颗粒物捕集器的柴油发动机，应附加 ETC 试验规程，测定其排气污染物。对于



LNG 发动机，应采用 ETC 试验规程，测定其排气污染物。

因为燃烧后的气体经催化转化器排到大气中，废气中有害的成分在催化转化器中参与了化学反应，最终排到大气中的只是氢氧化合物（H_2O）。

天然气燃烧充分，没有积炭、噪声低、对机油污染小，因此可以减轻对发动机的磨损，延长发动机的使用寿命，不需要经常更换机油和火花塞。与柴油发动机相比，可以节约 50% 的维修、保养费用。

第二章 LNG的基本特性



LNG是以甲烷为主要组分的低温液态混合物，其体积约为气态时的1/625。LNG气体具有以下特点：

1）体积小，天然气液化后便于进行经济可靠的运输。用专门的槽车、火车或轮船将LNG运输到销售地，方便灵活，适应性强。

2）储存效率高、占地少、投资省。

3）有利于城市燃气负荷的调节，生产过程中释放出的冷量还可以用作冷藏、冷冻、温差发电等。

4）LNG可用作优质的车用燃料。与燃油汽车相比，它具有抗爆性好、燃烧完全、排气污染少的特点，实践证明采用LNG作为汽车燃料，具有发动机寿命长、可有效降低运行成本等优点。LNG燃点高，气态时比空气轻，泄漏后立即挥发飘散，不易引起自燃爆炸。

5）有利于保护环境，减少城市污染。属于国家重点扶持的新兴产业。

第一节 LNG

LNG基本是无色、无味的液体，对金属没有腐蚀性，不溶解于水，但在许多有机化合物以及氢气和氧气中是可以溶解的。

一、LNG的特性

1）温度极低：在大气压力下按液化天然气组成不同，其沸点略有差别，但都在－162℃左右，在此低温下液化天然气蒸气密度大于环境空气。

2）液化气转气态：LNG不能直接进行燃烧，必须先将其转化成气态气体，才能与经过滤后的洁净空气混合后燃烧。

① 几乎可以完全充分燃烧，环境污染小。

② 很容易达到排放标准要求。

③ 发动机不易产生积炭，寿命更长，比汽油发动机和柴油发动机的日常维修保养工作量更少，维护费用更低。

④ 由于燃料是气态，寒冷天气更易起动，不需要采用预热装置。

⑤ 由于LNG与气态体积之比为1∶625，整车布置比CNG气体更容易、更方便。

⑥ 续驶里程能满足载货汽车较长距离运输的需要。

⑦ 燃料在进入发动机混合器前是气态，并在发动机混合器里与空气混合，所以寒冷天

气起动时，气缸壁的润滑薄膜不会被冲洗掉，发动机机油不会出现稀释现象。

3）安全性好：液化气储存在具有高强度的气瓶内，传输和加注均是在严格封闭的管道内进行，其气瓶不易破裂，管路不会泄漏。即使有泄漏现象发生，也会经特殊管道排出车外，在空气中遇微风即被驱散。液化气燃点高（650℃以上），比汽油燃点（427℃）和柴油燃点（220℃）高很多。LNG 密度为 0.47×103kg/m^3 左右，汽化后的密度只有空气的一半左右，稍有泄漏即挥发扩散，而且由于 LNG 着火界限为 6%～15%，不易形成可燃性混合气。LNG 的爆炸密度为 5%～15%，比汽油的 1%～5%、柴油的 0.5%～4% 高很多。所以 LNG 载货汽车用液化气不易产生火灾、爆炸事故，比汽油、柴油汽车更加安全。

4）使用性能好：以 LNG 为燃料的发动机，冷起动性能好，运转平稳，不含汽油、柴油中存在的胶质，因而在燃烧中不会产生积炭，同样由于其硫含量和机械杂质均远低于汽油、柴油，对气缸、活塞、活塞环和气门等零部件的危害较小，气体燃料不会对机油产生稀释，因此发动机寿命长，汽车大修里程可提高 50% 以上，而且不用经常更换发动机机油和火花塞，不用经常调校燃油系统，两次维修间隔期长，比柴油载货汽车更易维护保养、更节约维修费用。

由于 LNG 辛烷值高，约为 110，而高级汽油的辛烷值仅在 96 左右，所以 LNG 不需要添加剂或加铅抗爆剂。

5）排放尾气污染小：由于 LNG 汽化后能与滤清后的洁净空气均匀混合，燃烧充分，且燃料本身基本不含硫、苯等有害物质，所示燃烧后的排放物洁净环保。与柴油载货汽车相比，其综合排放量降低 85% 以上，CO 排放量减少 95%，HC 排放量减少 75%，NO_x 排放量减少 35%，CO_2 排放量减少 26%，SO_2、C_6H_6 等有害物基本为零。

二、LNG 的蒸发

在液化天然气（LNG）工业链中，其储存是一个关键环节，液化后的天然气都要储存在站内储罐或储槽中。在液化站和 LNG 接收站，都有一定数量和不同规模的储罐或储槽。LNG 槽船、槽车、罐式集装箱是主要的运输工具。LNG 是易燃、易爆的燃料，且 LNG 的储存温度很低，因此对其储存设备的安全、高效有严格要求。

大批量的液化天然气是作为一种沸腾液体储存在绝热的储瓶（罐）中的。任何传入储瓶（罐）的热量都将导致一定量的液体蒸发而成为气体，这部分气体称为蒸发气体，其组成与液体组成有关，这样就给天然气瓶的绝热提出了严格的要求。

LNG 气瓶的主要性能指标有静态蒸发率、封结真空度、真空夹层漏率、真空夹层放气速率及真空夹层漏放气速率等。储气瓶静态蒸发率能较为直观地反映储气瓶在使用时的保冷性能。

LNG 储气瓶因用途、规模及地形等原因，选择的结构形式、绝热方式各不相同，对储气瓶蒸发率的要求也有所不同。所以蒸发率往往作为衡量 LNG 气瓶绝热性能，甚至气瓶质量的一个重要指标。

三、LNG 的泄漏和溢出

1. 溢出液体的性质

液化天然气倾倒在地面上时，起初迅速蒸发，然后很快降到某一固定的蒸发速度，固定

速度取决于地面吸热性能，及可由周围大气中获得的热量。

2. 液化天然气的泄漏

液化天然气泄漏到水中会产生强烈的对流传热，以致在一定的面积内蒸发速度保持稳定。随着天然气流动，泄漏面积逐渐扩大，直到气体蒸发量等于漏出液体所能产生的气体量。出现泄漏时，可采取围堰区的方式限制其流动以防止进一步扩散。

围堰区就是采用压实泥土、混凝土、金属等耐低温材料隔离泄漏区。

3. 气体云团的膨胀与扩散

泄漏的液化天然气刚开始蒸发时产生的气体温度接近于液体温度，其密度大于环境空气。冷气体在未大量吸收环境空气中的热量之前，沿地面形成一个对流层。当其温度上升至约－113℃时气体密度就小于环境空气。形成的蒸发气和空气的混合物，在温度继续上升过程中逐渐形成密度小于空气的云团。

液化天然气泄漏时，由于温度很低，大气中的水蒸气会被冷凝而形成“雾团”，“雾团”通常是可见的，可以作为可燃性云团的示踪物，指示出云团的区域和范围。实际上由于云团外部边缘的温度已经不足以把水蒸气冷凝，云团的范围要比可见的要大一些。

四、LNG 的其他物理现象

1. 快速相态转变

当温度相差悬殊的两种液体接触时，由于快速相态转变可能产生爆炸力。此时，虽然不会出现燃烧现象，但是快速相态转变具备爆炸的其他特征。液化天然气溢入水中而产生的快速相态转变不太常见，且后果不甚严重。经过实验得出的理论：两种温差极大的液体接触时，如果热液体的温度比冷液体沸点温度高 1. 1 倍，则冷液体温度会迅速上升，表面层温度超过自发成核温度（当液体中出现气泡时），此过程热液体能在极短时间内通过复杂的链式反应机理以爆炸速度产生大量蒸气，这就是出现快速相态转变的原因。

2. 沸腾液体膨胀蒸气爆炸

任何液体在（或接近）其沸点面压力高于某一数值时，若容器因为故障而突然泄压（比如：产生较大的裂口），容器内的液体迅速蒸发，剧烈的膨胀可把整个容器推到几百米远。

提示：液化天然气一般储存在低压容器中，且这类容器都是绝热的，因此蒸发速度不会太高，因而在液化天然气装置中很少出现这种现象。

第二节 LNG 的储存、控制与调节

一、LNG 的储存

LNG 气瓶是一种用以替代汽车燃油箱盛装、储存、供给燃料（液化天然气）的低温绝热压力容器，并且可以多次重复充装，从而保证 LNG 安全有效地储存，如图 2-1 ~ 图 2-3 所示。由于 LNG 的汽化性能，气瓶液化气的充装量不得大于气瓶额定充装量的 90%。

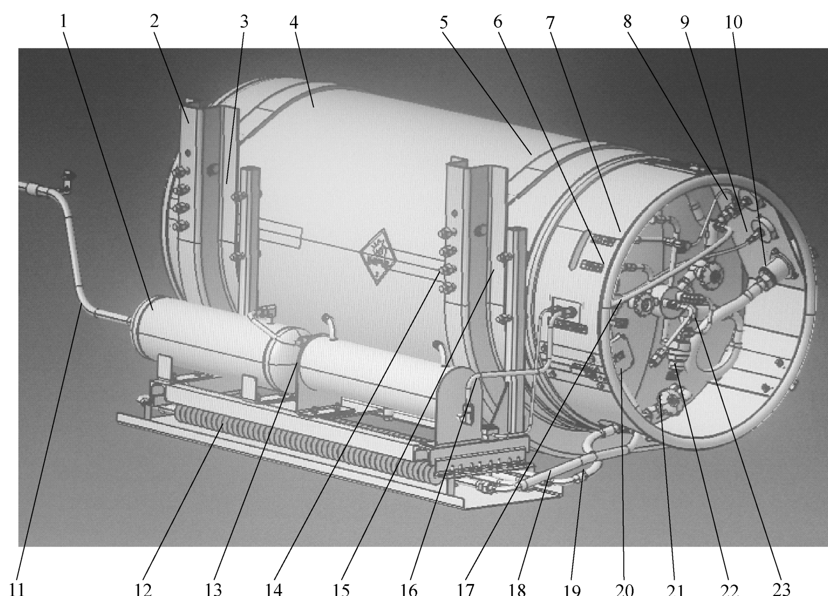


图 2-1　单气瓶总成及支架外形

1—缓冲罐　2—气瓶固定支架　3—缓冲罐、汽化器、增压器固定支架　4—气瓶总成　5—气瓶箍带　6——级安全阀　7—二级安全阀　8—气瓶压力表　9—放空管口　10—进液组件　11—缓冲罐出气管　12—增压器　13—汽化器　14—气瓶支架螺栓、螺母　15—缓冲罐、汽化器、增压器固定支架螺栓、螺母　16—汽化器进液管　17—增压压力管　18—增压器进液管　19—增压器回气管　20—变送器　21—增压器截止阀　22—经济调压阀　23—进液单向阀

LNG 气瓶是双层容器，内外壳均采用优质耐低温的奥氏不锈钢材料制成，内胆设有液位感应器、加液喷淋装置，能够承受一定的压力，用来储存和供给低温液态的 LNG。在内胆外壁缠绕有由玻璃纤维纸和光洁的铝箔组成的多层绝热材料，多层材料在高真空条件下具有热导率低、超强的隔热性能、重量轻的特点。

外壳主要用来与内胆形成夹层空间（两层容器之间的空间），以及把内胆支撑起来。

夹层空间被抽成高真空，它与多层绝热材料共同形成良好的绝热系统，用以延长 LNG 的储存时间。

外壳和内胆之间设有支撑系统，将内胆外壳合理固定，支撑系统能够承受汽车在行驶中加速、减速时产生的振动。

气瓶所有的外部管路、阀件都设置在气瓶的一端，并用保护环或保护罩进行防护（双层气瓶用外蒙皮防护），阀门系统的设置能够满足 LNG 的充装和供给。

内胆设置了两级安全阀（管路系统中），它在内胆超压时起到保护的作用。在超压情况下，一级安全阀（Svp）开启压力为 1.59～1.75MPa（不同的气瓶一级安全阀开启压力不同），泄放由于绝热层和支撑正常的漏热损失导致的压力上升，或真空遭破坏后，以及在失火条件下的加速漏热导致的压力上升。二级安全阀（Svs）开启压力为 2.20～2.85MPa（不同的气瓶二级安全阀开启压力不同），其压力设定比一级安全阀高。在一级安全阀失效或发生堵塞时，二级安全阀才启动。

在夹层超压条件下，外壳的保护是通过一个环形的防爆堵塞（真空堵塞）来实现的。

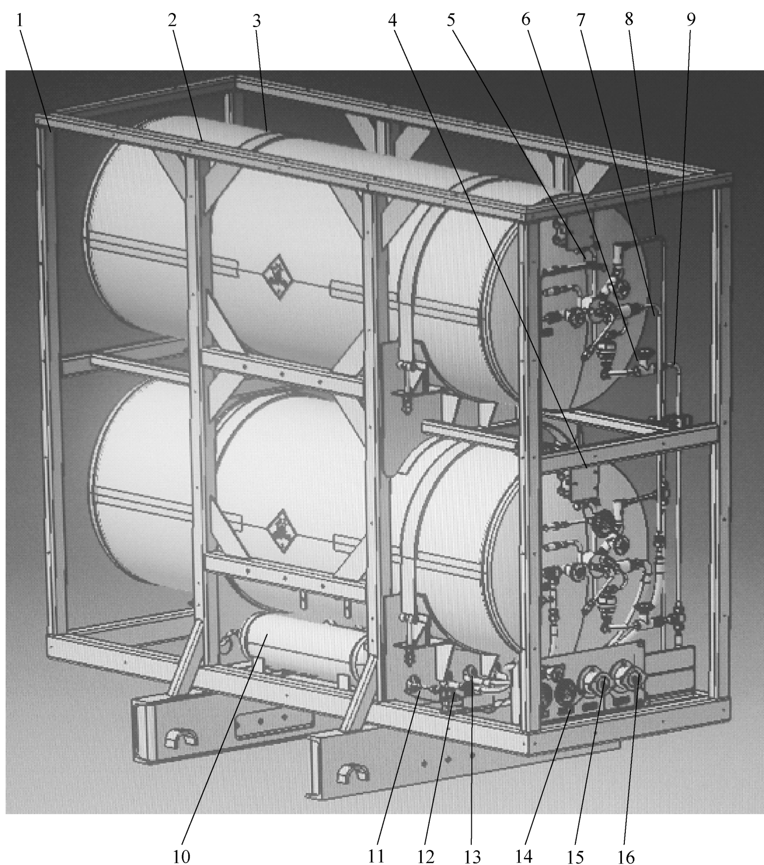


图 2-2　双气瓶总成及安装支架侧视图

1—气瓶框架　2—气瓶总成　3—气瓶箍带　4—变送器　5—变送器连接管　6—经济截止阀　7—进液管　8—出液管　9—经济阀进气管　10—缓冲罐　11—缓冲罐出液管　12—增压器回气管　13—气压表连接管　14—压力表　15—进液组件一（上瓶）　16—进液组件二（下瓶）

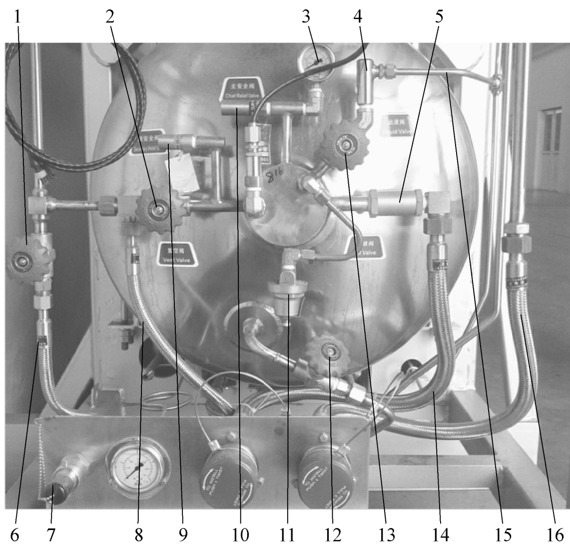


图 2-3　双气瓶总成及安装支架端面图

1、2—放空截止阀　3—压力表　4—进液过流阀　5—进液单向阀　6—放空连接软管　7—放空管口　8—经济回气连接管　9—一级安全阀　10—二级安全阀　11—经济调压阀　12—增压器截止阀　13—出液单向截止阀　14—进液软管一（下瓶）15—出液管　16—进液软管二（上瓶）

正常情况下，防爆堵塞（真空堵塞）被大气压紧在真空塞座内，使大气与夹层空间隔绝，保证夹层的真空度。由于低温液体或蒸气受热后体积变化比较大，即使少量的低温液体或蒸气泄漏进入夹层，也会导致夹层压力迅速升高。当夹层压力超过 0.17MPa（表压）左右，防爆堵塞（真空堵塞）将会打开泄压。

二、LNG 气瓶的检测、试验

LNG 车用气瓶应经国家低温容器质量监督检验中心、国家低温容器及检测实验室严格的振动、火烧、跌落试验，经国家技术监督局委托相关检查机构对相关项目检验合格后，颁发特种行业许可证方能出厂。

1. 气瓶振动试验

按照特种压力容器及车用气瓶的要求，LNG 气瓶总成必须进行振动试验，目的在于模拟检验 LNG 车载气瓶总成在 LNG 汽车行驶中的各种恶劣路况环境下，气瓶内胆与外壳的支撑结构、管道系统等附件承受剧烈振动时的可靠性。



图 2-4　气瓶振动试验

气瓶振动试验如图 2-4 所示。

试验条件：振动试验前气瓶充满与装满 LNG 等质量的液氮，气瓶处于完全冷却状态，压力（表压）处于 0MPa。

试验负载：振动加速度为 3g，振动方向为汽车前进方向的上下垂直方向。

试验要求：振动完成后，任何部位不得出现泄漏；静置 30min 以上，气瓶外壳没有结霜现象（内胆与外壳连接支撑部分除外）。

2. 气瓶火烧试验

按照特种压力容器及车用气瓶的要求，LNG 气瓶总成必须进行火烧试验，目的在于检验 LNG 汽车气瓶总成在发生火灾情况下，LNG 车载气瓶总成绝热系统的安全可靠性，以及在 LNG 汽车高温行驶中的恶劣环境气候时，气瓶内、外胆热传递、绝热性能的好坏。

试验前气瓶充满与装满 LNG 等质量的液氮，试验采用天然气或液化石油气，在气瓶正下部放置燃气管或燃烧装置，保证气瓶最低点距燃烧装置 120 ~ 130mm，将气瓶主体完全置于火焰之中，燃烧装置长度、宽度都应超出气瓶长度和直径 100mm 以上。保证在规定的试验时间内，安全阀不起跳为合格。气瓶火烧试验如图 2-5、图 2-6 所示。

试验条件：在点火 10min 内，气瓶外侧任一点温度不低于 538℃，并保持在该温度附近持续 40min 以上。

试验要求：安全阀开启压力满足偏差要求，安全阀回座压力不低于 0.9 倍开启压力。

3. 气瓶高空跌落试验

按照特种压力容器及车用气瓶的要求，LNG 气瓶总成必须进行高空跌落试验，目的在于



图 2-5　气瓶火烧试验（一）



图 2-6　气瓶火烧试验（二）

模拟检验 LNG 汽车在翻车、LNG 车载气瓶总成受到冲击条件的情况下，气瓶总成组及最关键零部件（气瓶封头、筒体、管路系统除外）的完整性。进行 10m 高的跌落试验和对管路系统端进行 3m 高的跌落试验，如图 2-7、图 2-8 所示。



图 2-7　气瓶跌落试验（一）



图 2-8　气瓶跌落试验（二）

试验条件：气瓶处于完全冷却状态，压力（表压）处于 0MPa。

试验负载：跌落试验前气瓶充满与装满 LNG 等质量的液氮，将气瓶升高到指定高度，地面为水泥地面。

试验要求：跌落试验完成后，任何部位不得出现泄漏；静置 30min 以上，气瓶外壳没有结霜现象（内胆与外壳连接支撑部分除外）。

三、LNG 的进液与控制

供气系统液化气的进液与控制工作原理如图 2-9 所示。

供气系统的进液系统由低温进液口、单向阀、进液管路组成。

液化天然气体的控制系统主要由经济阀（Er）、过流阀（Ef）、增压截止阀（Pv）、升压调节阀（PBr）、一级安全阀（Svp）、二级安全阀（Svs）、压力表（P1）、管路安全阀（LSv）、管路降压调节阀（LRe）、截止阀及相应的管路等附件组成。

1. 供气系统的进液

液化气进入供气系统原理如图 2-10 所示。液化气从加液化气站经加液化气管，并经

LNG 供气系统气瓶的加液口单向阀加液组件（C1）、进液单向阀（FCv）、加液化气进气管路进入到气瓶里储存。

图 2-9　液化气的进液与控制工作原理

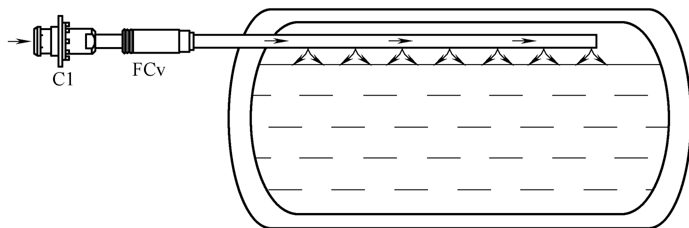


图 2-10　供气系统进液示意

2. 供气系统的出液

液化气从供气系统气瓶输出原理如图 2-11 所示。出液管路由出液单向阀（DCv）、出液截止阀（Vu）、过流阀（Ef）组成。

图 2-11　供气系统出液示意

LNG 载货汽车在没有使用的情况下，出液截止阀（Vu）应当处于关闭状态。汽车进行燃气供给时，开启出液截止阀（Vu），液化天然气通过出液单向阀（DCv），然后流经出液截止阀（Vu）和过流阀（Ef）进入供气系统（汽化器）。

当外部管路发生破裂，管路流量大于设定值时，过流阀自动关闭，停止对外供液。当关闭过流阀前的出液截止阀（Vu），后，过流阀自动回位。通过过流阀自动关闭，可以有效避免 LNG 液体超流量危险的发生。

3. 经济回路

经济回路由经济阀（Er）、出液截止阀（Vu）、过流阀（Ef）组成，其工作原理如图 2-12所示。当瓶内压力高于经济阀（Er）设定的压力时，如果在供气过程中，经济阀（Er）开启，气瓶顶部气相空间的饱和蒸气通过经济阀（Er）进入供气管路，并进入发动机混合器，此时出液单向阀（DCv）基本处于关闭状态。供气管路中的是气液混合物。随着发动机的燃烧，气体不断使用，瓶内压力会逐渐降低至经济阀（Er）的设定压力，此时，经济阀（Er）关闭，又回到液体供应状态。

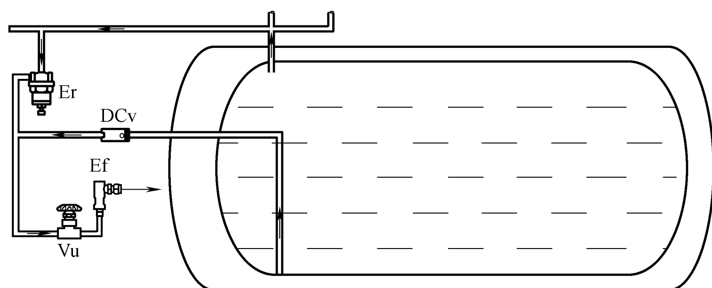


图 2-12　经济回路示意

同时，由于气瓶内汽化了的 LNG 气体压力被经济阀（Er）设定为一个限定压力值，一旦气瓶内的压力超过限定压力值，经济阀（Er）自动打开，气瓶内被汽化后的气体会通过经济阀管路进入发动机混合器，与空气形成适当的混合比而进入发动机燃烧室燃烧。

经济阀（Er）为自动阀。一旦初始压力设定以后，经济阀（Er）阀门会随着瓶内的压力自动开启或关闭。在使用过程中（长时间停驶除外），经济阀能够优先使用气瓶内胆顶部由于自然蒸发被汽化而形成的天然气蒸气，从而降低气瓶内部的压力，使得汽车只要在使用，气瓶的压力就不会升高至安全阀的开启压力，因而不用放空气瓶内汽化了的液化天然气。此阀可以手动调节，调节时先松开锁紧螺母，旋松或旋紧调节螺杆，就可进行压力调整，如图 2-13 所示。

不供气时，经济阀（Er）不能起到降低瓶内压力的作用。

如果气瓶内 LNG 温度较低，所对应的饱和蒸气压力低于经济阀（Er）设定压力，在发动机持续运行状态下，气瓶内压力会慢慢降低，但其下降速度较慢，直到下降到发动机允许最低输入压力。低于该压力，会出现明显的供气不足，影响发动机动力性，甚至导致催化器烧结。此时就应当对气瓶供气系统进行增压，以保证 LNG 载货汽车需要的压力。

LNG 汽车出厂时，经济阀（Er）的压力值已经根据 LNG 汽车供气系统的压力要求调整好，一般情况下，不需要另行调整。

注意：对于重型载货汽车，一般情况下，可以将经济阀压力设定值比 LNG 汽车要求值调高 0.05 ~0.10MPa，以满足 LNG 载货汽车的行驶压力要求。该零件为纯机械式，需拆下才能准确测量设定值，因此不允许用户私自调整。

若必须调整时，应按如下方法进行调整：松开锁紧螺母，旋松或者旋紧螺杆，旋转螺杆 1 圈调整值为 0.2MPa。调整时须严格做好记录。

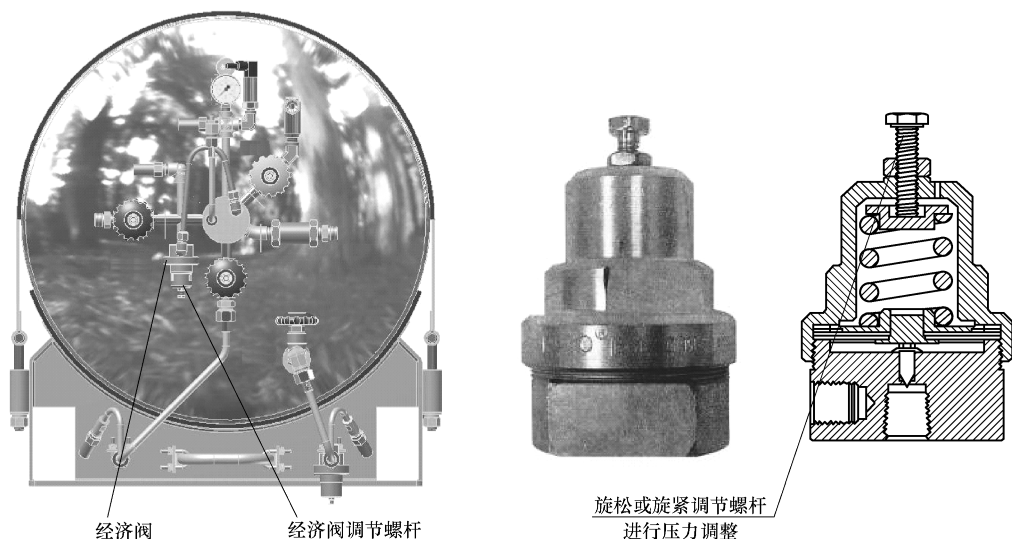


图 2-13　经济阀调节

4. 供气系统的增压

LNG 载货汽车燃气系统设置了自增压系统。自增压系统包括增压截止阀（Pv）、增压调节阀（PBr）、自增压盘管（Pr）及相应的管路等附件系统，如图 2-14 所示。该系统能够保证稳定地提供气瓶的正常供液压力和流量的要求，且仅仅通过与空气进行热交换，而不需额外的能源。稳定的压力是通过调节增压调节阀来控制的。当气瓶顶部的压力低于增压调节阀设定的压力（也就是系统需要的压力）时，少量的液化天然气通过增压截止阀和增压调节阀后进入自增压盘管与空气进行热交换，液体变成蒸气回到气瓶的顶部。由于液化天然气的液化气压力比较大，因此使得压力升高。当压力等于增压调节阀的压力后，增压调节阀自动关闭，气瓶压力不再继续升高。

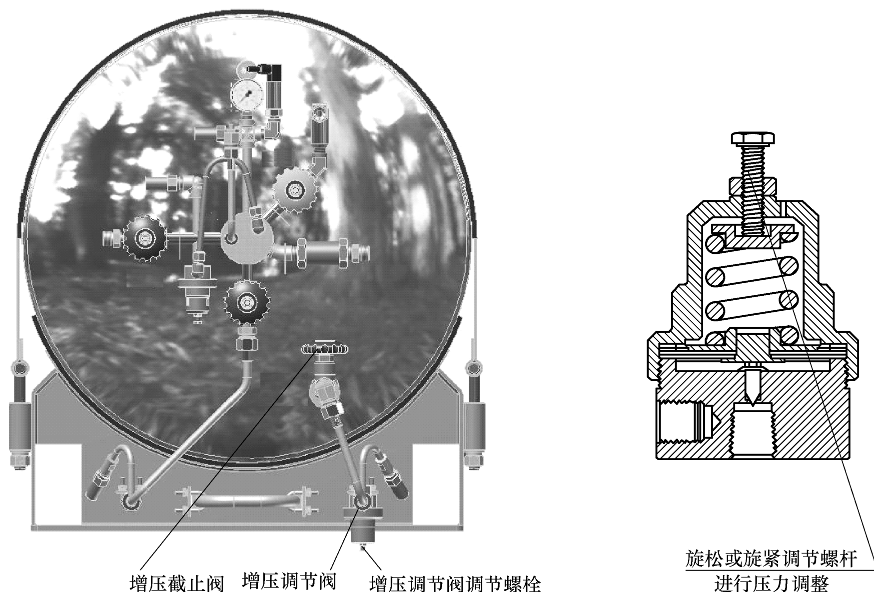


图 2-14　增压截止阀

在发动机运行中，随着发动机的燃烧，气瓶的压力会有所下降，此时就需要给气瓶增加压力，以满足发动机燃烧时的压力需要。尤其是在环境气温较低的寒冷地区，气瓶内的液化气会因为温度过低，转化成气态气体的能量大幅降低，气瓶的压力也较低，此时，就必须提高供气系统的压力。

汽车行驶过程中，若环境温度比较高，气瓶内的压力也比较高，完全可以满足发动机的工作压力要求，此时就可以关闭自增压系统。当气瓶内的压力超过经济阀（Er）限定的压力值，经济阀（Er）就会自动打开，气瓶内的气体进入发动机燃烧，使气瓶里的压力下降，避免气瓶里的气体因压力不断升高而从排空口排出泄掉，从而达到节约 LNG 的目的。同时，也能将气瓶内的压力恒定在一个稳定的压力区域内。

在环境气温较低的寒冷地区，LNG 载货汽车冷车起动时，由于汽车停放时间过长，气瓶里的液化气未能有效形成饱和蒸气转化成气态气体，因此，此时就需要通过自增压系统来提高供气系统的压力。为了保证寒冷地区 LNG 载货汽车燃气系统必需的工作压力，同时，也因为冬天环境温度较低，液化气的气体转化能力大大降低，气瓶内的压力增高非常缓慢，在汽车运行时就可以一直打开自增压系统，让自增压系统不断地增加汽车供气系统的工作压力。

为了保证供气系统增压后的压力能满足 LNG 发动机的工作压力要求，在增压系统中还设置了增压调节阀（PBr）。通过增压调节器将增压系统的压力控制在发动机需要的工作压力之内。LNG 载货汽车出厂时，增压调节器的压力已经调整好，使用中不需要另行调整。

当气瓶顶部的压力低于增压调节阀设定的压力（也就是系统需要的压力）时，液化天然气通过增压截止阀和增压调节阀后进入自增压盘管与空气进行热交换，液体变成蒸气回到气瓶的顶部。由于液化天然气的液气比较大，因此使得压力升高。当压力等于增压调节阀的压力后，增压调节阀自动关闭，气瓶压力不再继续升高。增压工作原理如图 2-15 所示。

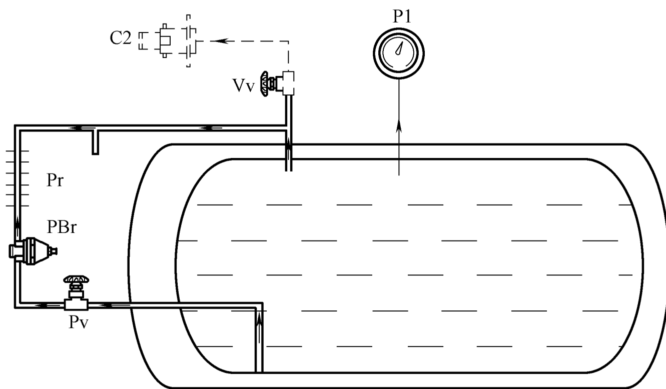


图 2-15　增压工作原理示意

第三节　LNG 载货汽车的安全与控制

为了保证 LNG 载货汽车的安全性，供气系统中设置了安全控制系统。安全控制系统由一级安全阀（Svp）、二级安全阀（Svs）、气瓶压力表（P1）、液位计（LG）和手动放空口（Vv）等零部件组成。安全系统控制工作原理如图 2-16 所示 。

一、气瓶工作压力限定

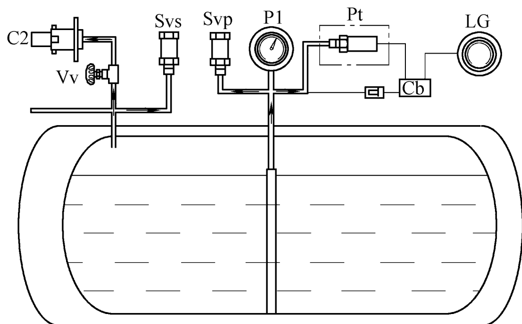


图 2-16　安全系统控制工作原理示意

气瓶工作压力的限定用安全阀来实现。

1）一级安全阀（Svp）的开启压力为 1.59～1.75MPa。一级安全阀（Svp）与排空管相连，当气瓶内压力升高至此压力值时，一级安全阀（Svp）自动打开，气体从排空管口排出，气瓶泄压，气瓶内压力会下降。当气瓶内压力降至低于一级安全阀（Svp）的开启压力后，一级安全阀（Svp）自动关闭，气瓶内压力又开始上升，周而复始，从而控制气瓶内的压力不超过一级安全阀（Svp）的限定压力值。

2）二级安全阀（Svs）是在一级安全阀（Svp）失效无法排气放空时，起到备用排气放空的作用。二级安全阀（Svs）的开启压力为 2.20～2.85MPa。当瓶内压力超过二级安全阀（Svs）的限定值时（一级安全阀失效），二级安全阀（Svs）才有可能打开。二级安全阀与排空管相连，气瓶内超过二级安全阀（Svs）的开启压力后，气体从排空管口排出，气瓶泄压至低于二级安全阀（Svs）的限定压力值后，二级安全阀关闭，气瓶压力再继续上升……

不同的气瓶生产厂，一级安全阀（Svp）、二级安全阀（Svs）的开启压力不一样。一般情况下，一级安全阀（Svp）的开启压力为供气系统 1.0～1.2 倍公称工作压力，二级安全阀（Svs）的开启压力为供气系统 1.5～1.8 倍公称工作压力。

若采用水压试验，试验压力为公称工作压力的 2 倍。

若采用气压试验，试验压力为公称工作压力的 1.8 倍。

稳压器（调压器）压力通常称为公称压力。

二、气瓶防爆堵塞设置

为了防止气瓶在突然产生的高温、跌落、碰撞时产生爆炸，在气瓶内胆上还设置有防爆堵塞（真空堵塞）。防爆堵塞（真空堵塞）用一塑料盖盖上，在紧急情况下起到快速卸压的作用，如图 2-17 所示。当气瓶内的压力突然增高至二级安全阀开启压力以上时，气瓶里的高压气体会从防爆堵塞（真空堵塞）泄出，使气瓶压力有所降低，从而避免气瓶发生爆炸。

> 任何情况下，不允许拆除防爆堵塞（真空堵阀）上的塑料盖，以免杂物堵塞防爆堵塞（真空堵塞）排气管口，造成防爆堵塞（真空堵阀）失效。

三、流量控制与限制

除了气瓶上设置有安全阀来保护气瓶超压后泄压外，气瓶供气系统还通过限制气瓶的过载流量进行安全保护。现在 LNG 气瓶均采用过流阀（Ef）来限制 LNG 过多流入汽化器，进而控制汽化后的气体过量流入发动机混合器，以避免发动机因气体流量过量而超负荷运行。过流阀（Ef）在气瓶上的安装位置如图 2-18 所示。

当供气系统外部管路发生破裂，管路流量大于设定值时，过流阀（Vu）自动关闭，停止对外供液。当关闭过流阀（Vu）前的液体使用阀后，过流阀（Vu）会自动回位。通过



图 2-17　气瓶防爆堵塞（真空堵塞）

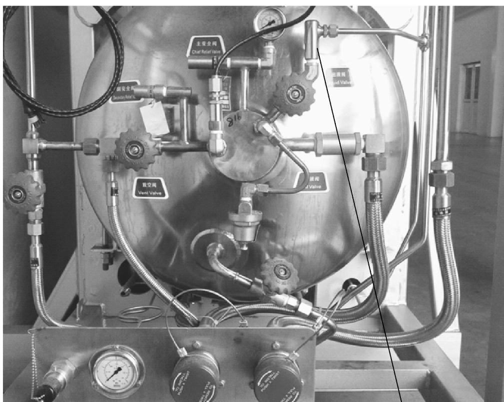


图 2-18　气瓶过流阀

自动关闭过流阀（Vu），从而可以有效地避免 LNG 液体超流量危险的发生，同样也起到安全保护的作用。

第四节　供气系统的压力调节和显示

为了有效地控制、调节供气系统的压力，保证供气系统压力满足发动机的工作压力要求，供气系统中设置了压力调节系统。压力调节系统由稳压器、调压器、压力表及其相应的管路等零部件组成。

一、供气系统压力调节

供气系统的压力用稳压器（调压器）进行调节，如图 2-19 所示。稳压器（调压器）的压力即为供气系统的工作压力，载货汽车稳压器（调压器）的工作压力范围为 0.65 ~ 1.30MPa。稳压器（调压器）压力通常称为公称压力，也就是发动机供气系统的工作压力，其压力值在 LNG 汽车出厂时，已经根据发动机供气系统的工作压力调整好，使用中不需要另行调整。

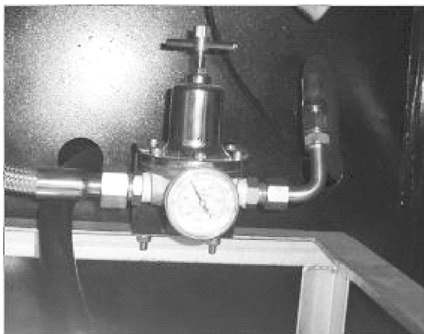


图 2-19　供气系统稳压器

LNG 气瓶内压力应始终高于发动机低压电磁阀要求的最小燃气入口压力 100 ~ 200kPa 以上；供气管路上的稳压器出口压力设定值，应比发动机低压电磁阀要求的最小燃气入口压力高 0.05 ~ 0.10MPa；与发动机低压电磁阀接口处的压力在汽车运行时的压力波动值应小于 ±69Pa，同时应满足发动机最大流量要求。

二、压力显示

压力表必须采用禁油压力表，量程为 1.5 ~ 3.0 倍公称工作压力。压力表进口管路应与

气瓶内胆相通，这样测量的压力才能准确地反映气瓶的压力。

有的 LNG 载货汽车配置为两个气瓶，每一个气瓶设置了一个压力表，如图 2-20 所示。一般情况下，气瓶的压力表数值除了直观地在气瓶上反映压力读数以外，还可以通过液位显示表读出气瓶的压力值。汽车在行驶过程中，驾驶人能直接通过液位显示表随时了解气瓶的工作压力，在供气系统压力不足时，能及时进行供气系统的增压。

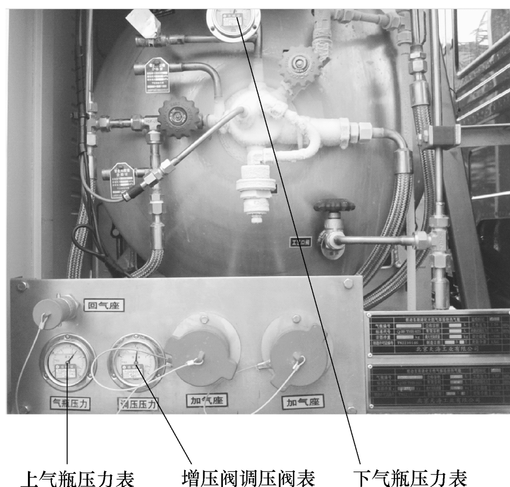


图 2-20　双气瓶压力表

第五节　LNG 液位储量显示系统

液位储量显示系统采用电容式液位计，该系统由三个子系统组成：电容电极（传感器）、电容变送器和液位显示表（相当于汽车油量表）。其工作原理如图 2-21 所示 。由于被测介质，即液体和蒸气的介电常数不同，当液面变化时，电容敏感元件（电容变送器）的电容随之变化，其变化的读数通过液位显示表显示出来，这样就能测定气瓶内液面的高度，通过特定的转化，可以直接读出液体的体积。

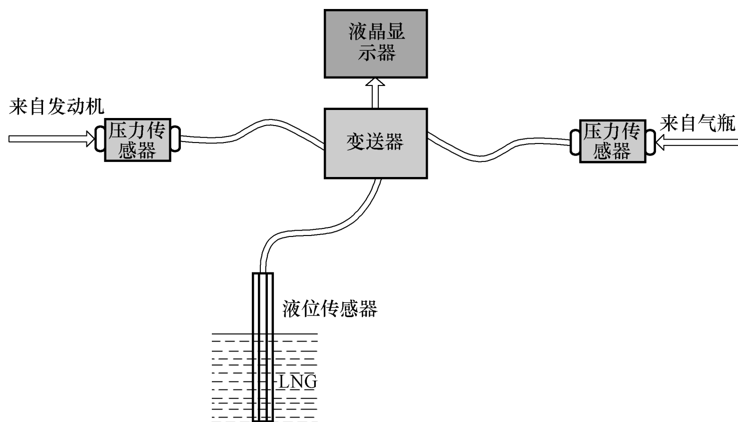


图 2-21　液位储量显示系统工作原理

一、电容电极（传感器）

电容电极焊接安装在气瓶的内胆内部，是气瓶整体的一个组成部分。它由内外两个电极组成，其作用是根据气瓶内的燃料高度产生一个呈线性比例的电容信号，并传送给电容变送器。

电容信号不受燃料状态（液相或气相）和压力的影响，能够反映气瓶内燃料量的多少。与汽、柴油油位计量系统相似，该系统能够适应由于汽车加速、制动、爬坡及转弯等行驶条件变化致使气瓶液面变化所带来的瞬间影响。

电容电极导线与外部的插头处应当保持干燥。如果此处有水分，那么将造成短路，无论内胆有多少液体，液位显示表的读数都将显示为满刻度。

二、电容变送器

电容变送器的外形如图 2-22 所示。电容变送器将采集到的传感器电容信号送至处理器进行计算，最后把处理好的信号传送到显示器进行显示，达到实时跟踪液位变化的效果。

变送器电源线接通后，变送器电源指示灯亮，变送器自动进入自检，3s 后状态指示灯熄灭，表示自检通过。指示灯不熄灭，表示自检未通过。自检结束后，变送器自动进入气瓶数据采集进程。

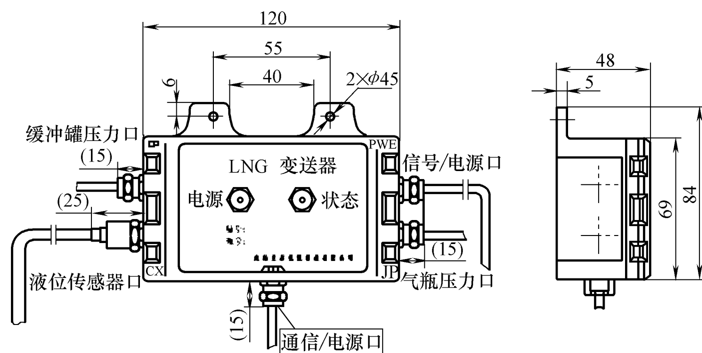


图 2-22　电容变送器

变送器的工作原理如图 2-21 所示，图中分别设置了一个主变送器、三个副变送器，一个变送器对应一个气瓶。

若是两个以上气瓶的 LNG 载货汽车，则每个气瓶设置有一个变送器，分为主变送器、副变送器，每个变送器必须与相应的气瓶瓶号对应连接，不可装反。变送器应装在相对应的气瓶或气瓶框架上，如图 2-23 所示。

变送器分为压力变送器和差压变送器两类。压力变送器除可测量压力外，还可以测量设备内的液位。在常压容器测量液位时，需用一台压力变送器即可。当测量受压容器液位时，可用两台压力变送器，即测量下限一台，测量上限一台，它们的输出信号可进行减法运算，即可测出液位。

也可选用差压变送器。在容器内液位与压力值不变的情况下它还可以用来测量介质的密度。压力变送器的测量范围可以设置得很宽，从绝对压力 0 开始到 100MPa。

差压变送器除了测量两个被测量压力的差压值外，它还可以配合各种节流元件来测量流量，还可以直接测量受压容器的液位和常压容器的液位以及压力和负压。

差压变送器的基本原理：将一个空间用敏感元件（多用膜盒）分割成两个腔室，分别向两个腔室引入压力时，传感器在两方压力共同作用下产生位移（或位移的趋势），这个位移量和两个腔室压力差（差压）成正比，这个位移信号可转换成可以反映差压大小的标准信号输出。

变送器工作原理如图 2-24 所示。

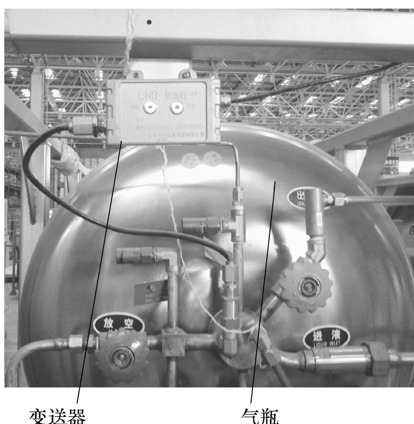


图 2-23　变送器的安装

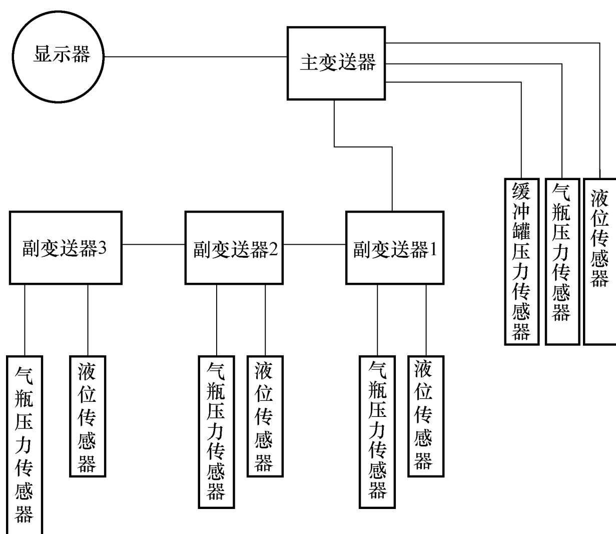


图 2-24　变送器工作原理

三、液位显示器

由于 LNG 液化气加气站较少，因此，LNG 载货汽车在行驶途中，当 LNG 气体用完以后补充加气比较困难，所以在汽车行驶中，驾驶人需要随时了解 LNG 载货汽车气瓶里的 LNG 储量，以避免因缺 LNG 而造成汽车无法行驶的现象。而 LNG 载货汽车 LNG 储量的显示，往往通过液位显示器来表示，现在普遍采用数字显示液位器结构形式。通过数字显示液位器，能随时了解 LNG 载货汽车行驶途中气瓶里的储气量，同时也能直观地了解气瓶的压力。数字显示液位器的结构及主要功能如图 2-25 所示。

电容变送器将电容信号转化成电信号，传递给液位显示表。

注意：气瓶的液位显示器精度不得低于气瓶有效容积的 10%，并且要求在气瓶中介质余量为 5% ~10% 时，就显示为空瓶。

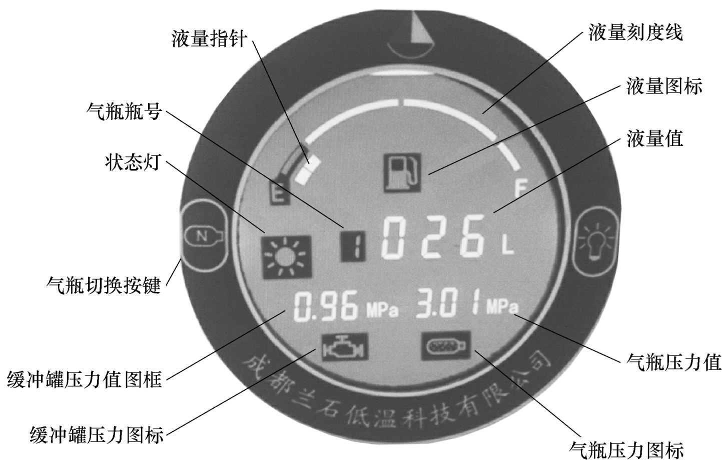


图 2-25　数字显示液位器

液量指针——直观地表征气瓶储存液量　液量刻度线——表征气瓶储存总液量
液量值——表征气瓶当前储存液量　　状态灯——气瓶储量报警显示
液量图标——燃料显示　　气瓶瓶号图框——表示不同气瓶编号
气瓶切换按键——可以切换不同的气瓶，以显示气瓶储量
缓冲罐压力值图框——表示缓冲罐压力数值，单位为 MPa
缓冲罐压力图标——表示缓冲罐示意形状　气瓶压力值——表示气瓶压力数值，单位为 MPa
气瓶压力图标——表示气瓶示意形状

第六节　LNG 载货汽车燃气的形成

发动机燃烧时所需的混合气，由经过 LNG 汽车空气滤清器过滤的洁净空气，与在汽化器里被汽化后形成的天然气气体二者混合而成。

一、滤清后的洁净空气

与柴油发动机相同，LNG 发动机燃烧时所需的洁净空气，由 LNG 汽车所设置的空气滤清器过滤后，经空气进气管道输入发动机涡轮增压器，经涡轮增压器叶轮旋转，产生吸力进入涡轮增压器、中冷器，然后进入发动机混合器。新鲜空气通过涡轮增压器提高进气压力，以提高进入气缸气体的密度，经中冷器经冷却后，再进入 LNG 发动机混合器。

滤清后的空气密度越高，表示进入发动机气缸的空气量越多，发动机的燃烧就越充分，发动机动力性就好。这对 LNG 发动机尤其重要。

进入 LNG 发动机气缸里的空气密度，与空气滤清器过滤的效率密切相关：一般情况下，空气进气阻力和过滤效率成反比，阻力大对应的空气流量较小，单位时间内过滤的空气容量就小。

进入 LNG 发动机气缸里的空气密度，还与涡轮增压器的增压压力有关：增压压力越高，空气的密度也会相应增大。

进入 LNG 发动机气缸里的空气密度，与中冷器的冷却能力密切相关：空气经中冷后，空气温度越低，意味着单位体积内的空气密度越大，这也会提高发动机的燃烧效率，有利于发动机功率增大。

二、气态天然气的形成

LNG 不能直接进入发动机混合器混合燃烧，必须将 LNG 汽化转变为气态天然气。

发动机燃烧中需要气态气体与经过滤后的洁净空气混合。由于 LNG 的蒸发性，它的储存温度为 –162℃，当其温度上升至约 –113℃时，就会形成蒸气和空气的混合物，若温度继续上升会很快形成气态天然气。因此，当 LNG 从气瓶经输液管道流出时，由于输液管道的温度高于 –113℃，此时，在输送 LNG 的同时，已经开始 LNG 的汽化过程了。

1. LNG 汽化过程

根据 LNG 的蒸发特性，在 LNG 供气系统中设置了汽化器，如图 2-26 所示。它利用发动机燃烧工作中产生的热能（发动机冷却系统的冷却液）对 LNG 进行加热。通过加热 LNG，既达到了汽化 LNG 的目的，同时又降低了发动机冷却液的温度，提高了发动机的散热能力。

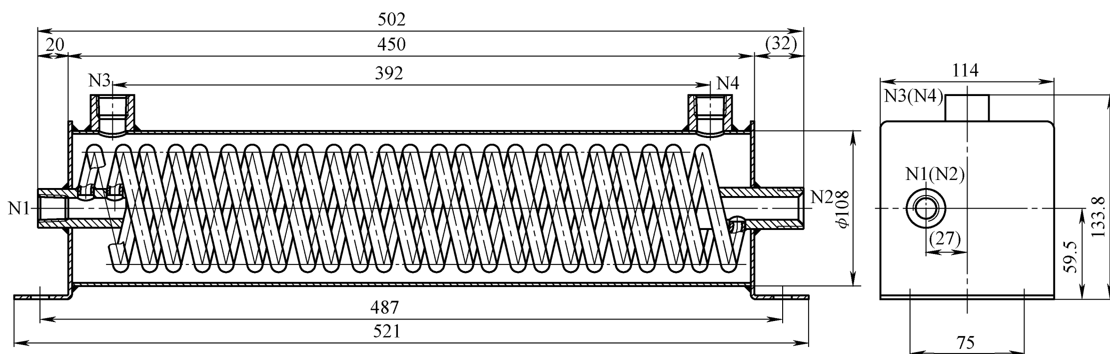


图 2-26　汽化器

汽化器的主要作用是将 LNG 经过加热，汽化成气态的天然气。汽化器一般安装在汽车（底盘）大梁上，或者布置在气瓶框架上。布置汽化器时，应尽可能靠近发动机，以减少低压管路流程阻力。汽化器使用发动机冷却液来加热 LNG，设计汽化器支架时，应注意汽化器的安装位置不能高于发动机散热器顶部，否则会导致加热水不能流经汽化器，造成汽化器结冰冻裂故障。

汽化器进液口端为冷却液进口，另一端为冷却液出口。LNG 由汽化器进液口进入汽化器，在汽化器中汽化后，形成气态天然气，经由稳压阀恒定压力后进入缓冲罐。气态天然气最终由缓冲罐出气口供给发动机。

装配要求：汽化器冷却液进、出水口与液化气进、出气口同向相接，即汽化器进水管口接进液管口，出水管口端接出气管口。

选择汽化器时，应本着够用即可的原则，因为汽化能力大的汽化器，其内用于热交换的螺旋管路长度会增加，可能导致流程阻力增加，影响气瓶最低使用压力，并且会导致汽化后

的天然气温度过高，密度下降。以下信息供选型时参考：

汽化器散热量计算参考数据

汽化器入口冷却液温度：85～96℃

汽化器出口冷却液温度：70～75℃

汽化器压降：<30～40kPa

汽化器出口燃气温度：30～50℃

2. LNG 的过滤

由于 LNG 里含有一些细微的杂质、粉尘颗粒，为有效防止这些杂质进入电磁阀，导致电控燃气零部件失效，LNG 供气系统在低压电磁阀之前的管路上加装有低压燃气滤清器（图 2-27），以过滤 LNG，如图 2-28 所示，保护低压电磁阀不因其产生早期损坏。由于低压燃气滤清器需要经常维护保养，在设计安装位置时，要考虑其安装位置应方便维护、拆装。

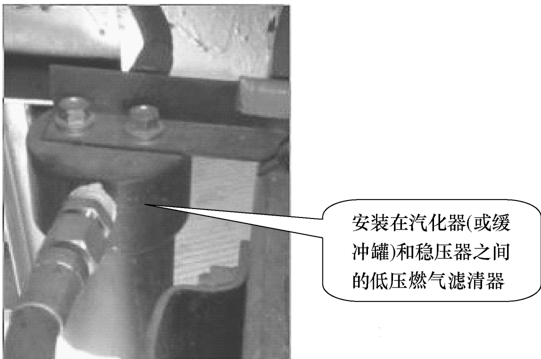


图 2-27　低压燃气滤清器安装

低压燃气滤清器技术要求

工作环境温度范围：－40～107℃

标定流量：1415L/min

过滤器初始压降：≤20.7kPa

容尘量：198g

过滤效率：0.3～0.6μm ≥95%

许用最大工作压力：3.5MPa

爆破压力：10MPa



图 2-28　低压燃气滤清器作用

三、气态天然气与空气的混合及控制

LNG 发动机混合器普遍采用电控系统，以保证传输给传感器的数据稳定、准确，提高发动机的动力性、经济性及排放性能。

电控系统可以根据发动机负荷和转速调节天然气供给量，保证 LNG 气体与经过滤的洁净空气混合均匀，满足汽车发动机各工况要求。电控混合器与电子压力调节器配套使用，每循环的燃料供气量，由电控系统发出指令通过电子压力调节器来完成。

气态天然气与经过滤的洁净空气在混合器里充分、均匀地混合后，由电控系统发出指令，通过电子节气门的开度大小调节供气速率，输往发动机燃烧室。由于汽化后的气态天然气与经过滤的洁净空气在混合器里进行充分混合，因此 LNG 发动机与柴油发动机不同的是，天然气发动机对活塞燃烧室的旋流要求不高，通常采用结构简单的盆形燃烧室，对气缸盖进气道内的气体涡流也没有很高的要求。

电子节气门控制器用来控制进入发动机的空气、燃料混合气的速率，以此辅助实现负载控制和调节功能。混合器对燃料和空气进行混合，也可根据燃料供给压力，按照容积空气流量的比例对燃料进行计量。电子压力调节器通过调节混合器的供气压力，控制发动机的燃料速率。

汽化后的 LNG 气体与经过滤的洁净空气混合得是否良好，会直接影响到发动机的燃烧特性。若混合得不好，在燃烧过程中会产生爆燃，造成发动机的动力性、经济性恶化，发动机的寿命降低。

与柴油发动机相比，LNG 发动机取消了柴油发动机燃油系统的供油系统零部件（高压油泵、喷油器、喷油管等部件）。由于排气温度较高，LNG 发动机都采用水冷涡轮增压器，进、排气门座采用耐磨、耐腐蚀、耐高温的材料，采用带隔热材料的排气管。

由于燃烧着火方式为点燃，LNG 发动机的压缩比也比柴油发动机小很多。LNG 发动机的压缩比一般在 10.5～11.5，理论空燃比为 16～17；柴油发动机的压缩比一般在 16.5～18，理论空燃比为 14.5。

第七节　LNG 管道

LNG 管路必须能在低温工作环境状态下正常工作，若 LNG 管道材料选用不当，管道就会出现冷脆、冻裂，而无法保证 LNG 供气系统的正常工作。常用的 LNG 管路结构如图 2-29 所示。



图 2-29　LNG 管路结构

一、LNG 管道常用材料

由于液化天然气的温度低至 −162℃左右，所以 LNG 发动机供气系统中的燃料管路均要求具有耐低温、耐蚀性，具有良好的低温韧性、可焊接性能。由于管路在低温下工作，材料

的线膨胀系数要求尽可能小。

由于 LNG 管路的工作特性要求，LNG 管道常采用奥氏体不锈钢、9% 镍钢，不锈钢牌号一般采用 304、304L。

由于铜的换热系数高，换热效果好，焊接性能好，挠性大，易于成形，在满足耐低温、耐腐蚀的性能要求情况下，能消除汽车行驶中产生的振动，所以 LNG 管道也常常采用纯铜管 。

由于钢编织金属软管具有耐腐蚀、耐低温（－196℃）、重量轻、体积小和柔软性好等性能。所以钢编织金属软管也是 LNG 管道选用材料之一，如图 2-30 所示。

二、LNG 管道成形要求

1）同一段管路应一次折弯成形，不能二次或者二次以上折弯成形，以免出现折弯裂纹，造成 LNG 泄漏。

2）天然气管路、管路接头与发动机排气管及传动轴的任何部位之间的距离应≥75mm，当管路、管接头与发动机排气管的距离在 75～200mm 之间时，应设置固定可靠的隔热装置，以减小排气管热辐射对天然气管路的影响。

3）气瓶管路的特殊部位（如相对移动的部件之间）应采用柔性管路，其余部位应采用刚性管路，以减小汽车行驶中振动对天然气流动的影响。

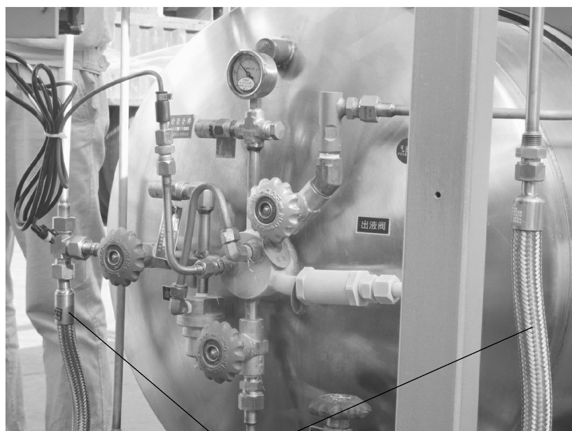


图 2-30　钢编织金属软管

4）刚性管路应排列整齐、布置合理、固定牢固，不得与相邻部件碰撞和摩擦，所有管路和管接头应得到有效的保护，管接头应安装在能看得见，且操作者易于接近的位置。

5）供气管路的布置走向应合理，管道成形时，应避免出现 90°折弯，以减少天然气流动阻力。

6）固定管路的管夹应具有耐低温要求，低温管道尽量不要与汽车车架或者其他金属（碳钢）零件相接触，以免其他零件因低温出现脆断现象。

7）在低温管路外径上缠绕一层隔热材料，以保证低温管路在－40℃工作环境条件下不结霜。

8）若采用刚性管路，在两管路的连接之间，管路应做成“S”形、“O”形或者“U”形，以保证管路起到缓冲的作用。

9）刚性管路成形时，应保证成形管路中心弯曲半径不得小于管路外径的 5 倍。

10）螺纹管路连接时，应当在螺纹部分缠绕上耐低温生料带，缠绕生料带时应避免生料带粉屑进入气管内，以免堵塞低压减压阀燃气喷嘴。

11）采用卡套式密封接头时，管端应无椭圆、凹出、划伤等表面缺陷，应将管端 30mm 左右长度的表面进行打光处理，以保证管端卡套密封良好。

12）管路、管夹应布置均匀合理，不允许因管夹的布置使管路变形，两管夹之间的距离应小于 300mm。

13）天然气管路内不得进入金属粉屑或者其他杂质。

14）装配天然气管路时，不得有水滴进入气管内，以防止出现冰堵现象。

三、LNG 管道安装要求

液化天然气管道及其接头与传动轴的距离不应小于 75mm。每隔 500mm 应给液化天然气管安装管夹等固定装置。LNG 管、气态天然气管由于要承受较高的压力，所以要求其可靠性好、无泄漏、挠性大且减振性强。

为防止液态金属管路管径太小，造成流程阻力过大，要求低温液态管路内径应大于 12mm，并且设计气瓶到汽化器的管路应尽可能短，以减少流程阻力。为了保证液态金属管能承受供气系统的工作压力要求，液态金属管的壁厚不得 <1.5mm。

安装时，液化天然气管应避开汽车上所有的电器设备和电线，建议在软管外缠绕一层保温材料以防止管道结霜。

连接好气瓶到发动机燃气系统之间的管路后，应使用氮气将管路和气瓶中的空气置换，并且对整个管路进行试漏检查，合格后才能进行 LNG 的充装。

第 三 章

LNG 载货汽车发动机的工作原理及构造



发动机是汽车的核心总成部件。汽车发动机将燃烧做功时产生的热能转化为机械能，由于燃烧是在发动机内部产生的，所以又称为内燃机。

LNG 发动机的机械运动部分零件、结构与汽油发动机、柴油发动机相同，不同的仅仅是因为燃烧介质不一样而涉及的相关系统、相关零部件。所以，LNG 发动机是在汽油发动机、柴油发动机的通用基础结构上，对涉及燃烧系统的相关零、部件进行重新设计，舍去了汽油发动机、柴油发动机的燃油供给系统，修改设计了燃烧系统零、部件，增加了 LNG 供给系统及相关的零、部件。

第一节　直列、水冷、六缸、四冲程 LNG 发动机

本章以国内载货汽车配装的 WP10336NGE40 LNG 发动机为例，对 LNG 发动机的主要结构进行分析，从结构上对 LNG 发动机与柴油发动机的特性进行对比，重点介绍 LNG 发动机的结构特点。

一、LNG 发动机主要特性概述

LNG 发动机与载货汽车用柴油发动机的主要差异，在于两种发动机的燃烧介质不同，燃料燃点不同，主要变化点如下。

由于 LNG 发动机燃烧温度高于柴油发动机、汽油发动机，在设计活塞、活塞环、燃烧室和气缸套等零部件时，其耐高温、耐腐蚀、耐磨损性能等综合性能要求更高，以满足其工作特性要求。LNG 发动机采用点火方式着火燃烧，采用水冷涡轮增压器，燃料供应采用电控供气系统。

而柴油发动机采取高压缩比，压燃着火方式，涡轮增压器则采用风冷方式，燃料供应采用电控燃油供给系统。

发动机特性的主要差别：

按照燃烧方式分为两种：点燃式发动机——汽油发动机、天然气发动机
压燃式发动机——柴油发动机
按照气缸排列形式分为两种：直列式——气缸数在六缸（含六缸）以下
V 形排列式——气缸数在六缸（或者六缸）以上，八缸、十缸、十二缸、十六缸发动机

按照曲轴旋转运动循环形式分为两种：二冲程、四冲程
按照燃烧介质分为四种：汽油、柴油、CNG 气体（高压气体）、LNG 气体（液态气体）
按照发动机冷却方式分为两种：风冷、水冷
按照涡轮增压器冷却方式分为两种：风冷、水冷

目前，国内载货汽车发动机一般均采用直列、水冷、四冲程、四缸或者六缸发动机。由于载货汽车对发动机动力的要求，因此国内载货汽车普遍采用柴油发动机。目前，随着 LNG 技术在发动机上的应用，近年来载货汽车也逐渐采用 LNG 发动机作为载货汽车的动力，根据载货汽车负载的不同，分别采用直列、水冷、四冲程、四缸或者六缸 LNG 发动机。

重型载货汽车普遍采用直列、水冷、四冲程、水冷式涡轮增压器 LNG 发动机，采取电子点燃式着火方式。

二、LNG 发动机的工作原理

1. 发动机的名词术语、定义

为更好地了解发动机的结构、工作原理，下面对发动机相关的主要名词、术语进行简要解释。

（1）直列　发动机气缸呈一字纵向排列的发动机，称为直列发动机。

（2）气缸数　发动机气缸的数量，称为气缸数。发动机常采用的气缸数为一缸、二缸、三缸、四缸、六缸、八缸、十二缸或十六缸。

（3）冲程　发动机曲轴转角为 180°，发动机活塞的行程称为冲程。发动机在曲轴转角 720°范围内完成进气、压缩、燃烧做功和排气四个行程的发动机，称为四冲程发动机。

发动机在曲轴转角 360°范围内完成进气、压缩、燃烧做功和排气四个行程的发动机，称为二冲程发动机。

（4）燃烧方式

1）点燃着火：由高压电子点火线圈向火花塞输出电压，当火花塞两极间的电压升高到一定值以后，火花塞两极间的间隙会被击穿，从而产生电火花，点燃混合气着火燃烧。

2）压燃着火：在压缩行程中形成较高的压力，达到混合气的自燃温度，着火燃烧。

（5）上止点　当活塞运行到距曲轴回转中心最远处，即活塞在气缸的最高处，此时，活塞顶部在气缸孔内的位置，称为上止点，如图 3-1 所示。

（6）下止点　当活塞运行到距曲轴回转中心最近处，即活塞在气缸的最低处，此时，活塞顶部在气缸孔内的位置，称为下止点，如图 3-2 所示。

（7）活塞行程　活塞由一个止点到另一个止点间运行的距离，称为活塞行程（S）。

（8）燃烧室容积　活塞位于上止点时，活塞顶上部的空间称为燃烧室，它的有效容积就称为燃烧室容积，通常用 V_c 表示。

（9）燃烧室形式　半球形燃烧室、盆形燃烧室如图 3-3 所示，这种形式的燃烧室燃油与空气不需要在燃烧室进行混合，燃烧室只起到封闭燃烧空间的作用。

ω 形直喷燃烧室如图 3-4 所示。为了保证柴油在燃烧室内形成强涡流，它配以螺旋进气道（图 3-5），使柴油在燃烧室内形成雾化气，与洁净的空气进行充分的混合。很多柴油发动机都采用 ω 形直喷燃烧室。

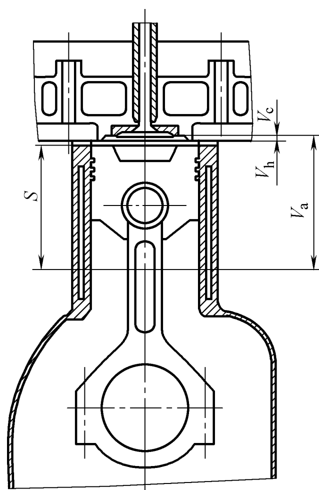


图 3-1　活塞上止点

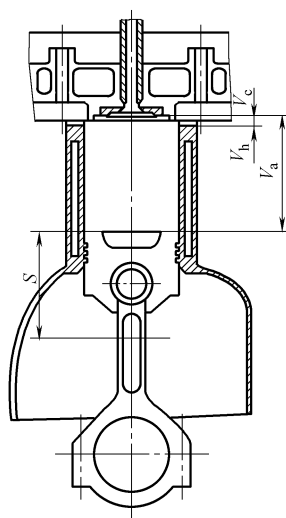


图 3-2　活塞下止点

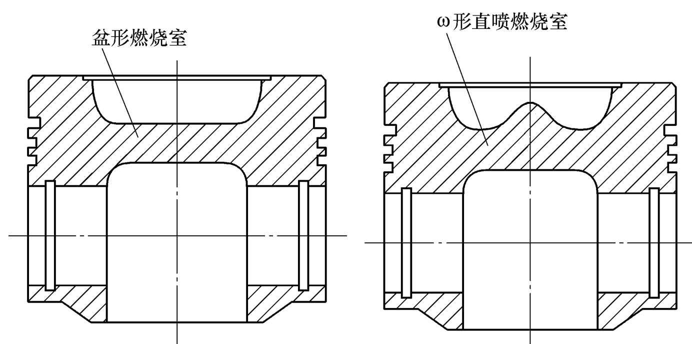


图 3-3　盆形燃烧室　　图 3-4　ω 形直喷燃烧室

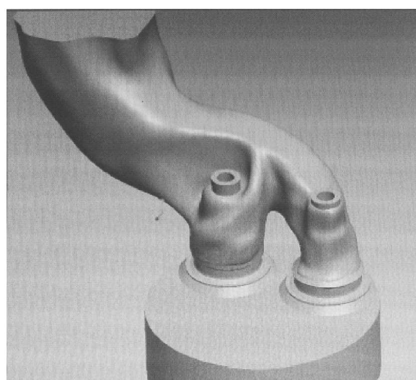


图 3-5　螺旋进气道

（10）气缸工作容积　活塞从上止点运行到下止点所扫过的气缸容积，称为气缸工作容积，通常用 V_h 表示。多缸发动机的工作容积为全部气缸工作容积的总和，也称为发动机排量，单位为 L。

$$V = V_h i \qquad V_h = \pi \frac{D^2}{4} S$$

式中　D——气缸直径（mm）；

S——活塞行程（mm）；

i——气缸数。

发动机排量是发动机的重要参数之一。排量越大，进入气缸的可燃混合气或空气量就越多，发动机输出的功率就越大。

（11）气缸的最大容积　活塞在下止点时，活塞顶部上面气缸的全部空间，即气缸工作容积与燃烧室容积之和，称为气缸总容积，即 $V_a = V_h + V_c$。气缸总容积如图 3-6 所示。

（12）压缩比　气缸总容积与燃烧室容积之比，称为压缩比。通常用符号 ε 表示。它表示活塞从下止点到上止点运行过程中，气缸内气体被压缩的程度。柴油发动机的压缩比为

16.5～18，LNG 发动机的压缩比为 10.5～11.5。

压缩比是发动机一个很重要的参数。它反映了在压缩行程中，气缸内的可燃混合气被压缩的程度。排量相同的发动机，压缩比越高，做功行程时其膨胀能力就越强，发动机输出功率也越大。

2. 四冲程发动机的工作原理

四冲程发动机的工作过程是由进气、压缩、燃烧膨胀（做功）和排气四个过程来完成的。发动机工作时，各气缸内每进行一次能量转换，均要经过进气、压缩、燃烧膨胀（做功）和排气四个过程，这四个过程称为发动机的一个工作循环。发动机之所以能连续运转，就因为各气缸内不断进行着这种周而复始的工作循环。凡是活塞在往复四个行程内完成一个工作循环的发动机，称为四冲程发动机。活塞往复两个行程完成一个工作循环的发动机。称为二冲程发动机。

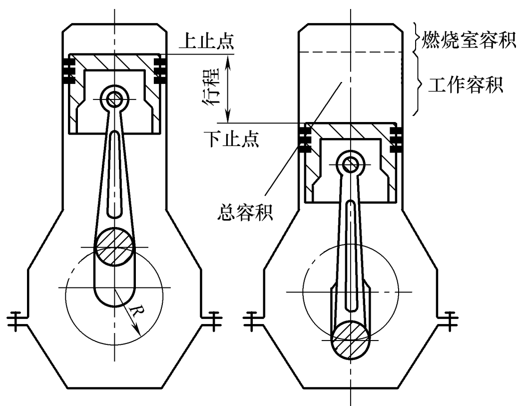


图 3-6　气缸参数示意

载货汽车均采用四冲程发动机。LNG 发动机和柴油发动机、汽油发动机一样，也是依靠曲轴、活塞连杆机构，将发动机燃烧过程中产生的热能，由活塞连杆的直线往复运动转变为曲轴的旋转运动，因此，LNG 发动机的工作原理与柴油、汽油发动机相同。

发动机四个行程的工作原理如图 3-7 所示。

（1）进气行程　活塞从上止点运动到下止点的过程，即为进气行程。

进气行程如图 3-7a 所示。进气门开启、排气门关闭，进气行程的任务是使气缸内充满新鲜空气。当进气行程开始时，活塞位于上止点，曲轴旋转，连杆推动活塞由上止点向下止点运动。

在进气行程开始前，气缸内的燃烧室中还残留有一部分废气，为了保证进气充分，废气排出彻底，发动机进气门会在活塞运行到上止点前提前打开。此时，活塞从上止点向下止点运动。随着活塞向下止点运动，气缸内活塞上面的容积逐渐增大，气缸内的压力低于进气管内的压力，因此，混合器里的 LNG 气体与洁净空气的混合气被吸入发动机气缸（燃烧室）。

进气门在活塞运行到上止点前提前打开，此提前打开的时间称为进气提前时间。

（2）压缩行程　压缩行程如图 3-7b 所示。进气门关闭、排气门关闭，进气行程结束，为使进气充分，进气门会在活塞运行到下止点一段时间后，才延后关闭。此延后关闭的时间称为进气延后时间。

压缩行程的任务是使气缸内的混合气被压缩到自燃或者容易点燃的临界温度。

压缩时活塞从下止点向上止点运动，这个行程的功用有二：一是提高混合气的温度，为燃料自行发火作准备，二是为气体膨胀做功创造条件。

当活塞上行，进气门关闭以后，气缸内的混合气受到压缩。随着容积的不断缩小，混合气的压力和温度也就不断升高，压缩终点的压力和温度与混合气的压缩程度有关，即与压缩比有关。柴油发动机压缩终点的压力和温度为 $P_c=3\sim4.5$MPa，$T_c=480\sim680$℃。柴油的自

燃温度约为 220℃，压缩终点的温度要比柴油自燃的温度高很多，足以保证喷入气缸的燃油自行发火燃烧。而天然气的着火温度为 650℃，所以，仅仅靠压缩行程的温度是不足以点燃天然气的，必须依靠火花塞点燃天然气燃烧。

（3）膨胀做功行程　膨胀冲程如图 3-7c 所示。压缩行程结束末期，进气门关闭，排气门关闭，此时，发动机气缸内的天然气与洁净空气的混合气被压缩后经火花塞点燃燃烧。燃烧中产生的高温、高压力推动发动机活塞从上止点向下止点运动，带动曲轴旋转，对外做功。

排气门会在活塞到达下止点前提前打开。此提前打开时间称为排气提前时间。

为了保证 LNG 发动机燃烧过程能有效做功，往往会在压缩行程结束末期火花塞就会点燃混合气。这个提前点火的时间被称为点火时间或者点火提前角，不同的发动机点火提前角不同。

（4）排气行程　排气行程如图 3-7d 所示。进气门关闭，排气门开启。排气行程的作用是将燃烧做功中产生的废气排出发动机外，以便新的混合气进入，为下一个循环的进气行程作准备。

当燃烧做功行程末期，活塞运动到临近下止点附近时，排气门打开，活塞在曲轴、连杆的推动下，由下止点向上止点运动，气缸中的废气在气缸压力和活塞向上的推动力作用下被排出气缸。由于排气系统存在阻力，在排气行程刚开始时，发动机气缸内的压力比大气压力高 0.025～0.035MPa，气缸内温度高达 750～927℃。为了使排气更加彻底充分，排气门会在活塞到达下止点后延后关闭。当排气门打开的一瞬间，气缸内压力急剧下降，这样当活塞向上止点运动时，其运行的阻力也会大幅减少，更有利于发动机有效功率的发挥。为了使废气排出干净、完全，排气门会在活塞到达上止点之后稍缓时刻才延迟关闭，至此，排气行程结束。

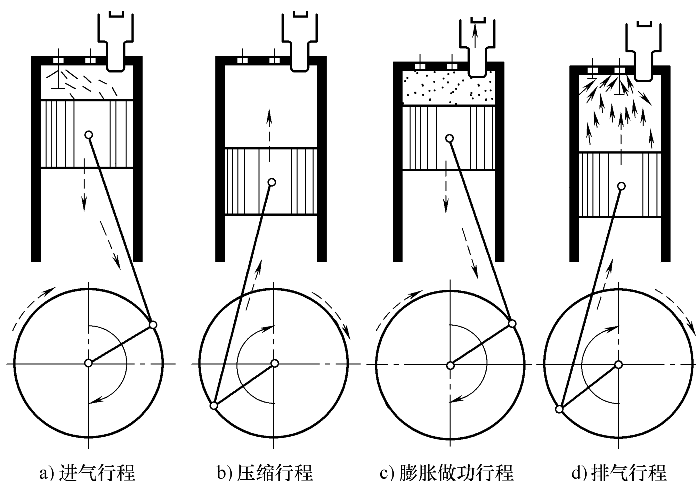


图 3-7　四冲程发动机工作原理

排气门会在活塞到达上止点后，延后关闭。此延后关闭的时间称为排气延后时间。

在整个循环过程中，进、排气门都会分别在活塞到达上、下止点前、后，提前打开、延后关闭。所以在进气行程之初、排气行程之末，活塞处于上止点附近时，有一段时间会出现

进、排气门同时开启，这段时间用曲轴转角来表示，称为气门重叠角。

发动机工作过程中，活塞依照进气行程、压缩行程、膨胀做功行程和排气行程的顺序完成四个行程（一个工作循环）的工作，由于这个工作循环需要曲轴旋转两圈（720°）完成，所以称为四冲程发动机。LNG 发动机也属于四冲程发动机。

3. 发动机运动中的平稳性

由于发动机在四个行程中，只有膨胀做功行程会产生燃烧动力做功，其余的三个行程都是辅助行程，必须依靠曲轴旋转的惯性力来保持曲轴的运转，从而达到推动活塞往复运动的需要。为此在发动机上设置了飞轮，利用飞轮的转动惯性，使曲轴在四个行程中都能保持稳定旋转。在四个行程中，显然做功行程推动活塞往复运动的动力高于其他三个行程，这样，也就造成了发动机运转中的不平稳现象。为了减少曲轴、飞轮旋转中的不平稳，设计曲轴、飞轮时，要求曲轴、飞轮组装在一起后必须进行动平衡试验，曲轴、飞轮动平衡必须达到设计要求。

发动机气缸数的多少、曲轴曲拐的分布排列形式，也会对曲轴、飞轮的旋转造成很大的影响。气缸数越多，曲轴曲拐的夹角就越小，曲轴旋转就越平稳。直列六缸发动机曲轴曲拐呈 120°分布，就比直列四缸发动机曲轴曲拐呈 180°分布，运转平稳性好很多。

飞轮的直径、转动惯量也会对曲轴的旋转平稳性带来直接的影响，飞轮的直径越大，转动惯量越大，曲轴的旋转就越平稳。

三、LNG 发动机的特点

LNG 发动机采用水冷，采用干式气缸套或者湿式气缸套方式，通过气缸体水套里冷却液的循环，经散热器散热，带走发动机燃烧过程中产生的多余热量，避免发动机气缸体、气缸盖、活塞、活塞环和气门等零件因发动机燃烧中产生的高温而发生烧蚀、变形、损坏。

一般柴油发动机、汽油发动机都采用风冷涡轮增压器。因为 LNG 发动机燃烧时的排气温度比柴油发动机、汽油发动机要高 100 ~ 150℃，而涡轮增压器又是高速旋转零部件，长期受排气高温的影响，其工作温度很高，若采用风冷涡轮增压器冷却方式，则不能很好地满足 LNG 发动机的冷却需要，所以，LNG 发动机都采用水冷涡轮增压器，用汽车散热器的冷却液来冷却涡轮增压器。

LNG 发动机燃料着火方式与柴油发动机不同，LNG 发动机的燃料在气缸外混合，气缸内点燃混合气燃烧。根据 LNG 载货汽车不断变化的负荷、发动机燃烧特性，电控系统发出控制指令，调节控制天然气流量、压力，从而达到发动机燃烧所需要的混合比，满足 LNG 载货汽车的动力需要。

初期着火只能通过高压电子火花塞点燃混合气，工作过程中由电子节气门控制混合器的流量，低压电磁阀打开或切断进气通道，电控调压器控制天然气的压力，从而达到控制空燃比的目的。

第二节　曲柄连杆机构

曲柄连杆机构的功用是将发动机燃烧中作用在活塞顶上的往复直线运动动力，转变为曲

轴、飞轮的旋转力矩，并通过曲轴、飞轮对外输出转动力矩。

LNG 发动机和柴油发动机、汽油发动机一样，也是依靠曲轴、活塞、连杆机构将发动机燃烧过程中产生的热能通过曲柄连杆机构转变为曲轴的旋转运动，因此，发动机工作的原理也分为进气、压缩、膨胀做功和排气四个行程。除了燃烧系统、点火系统外，LNG 发动机的主要结构与柴油发动机、汽油发动机完全相同。

曲柄连杆机构包括气缸体总成（含气缸盖总成）、活塞、活塞环、连杆组总成和曲轴飞轮组总成和如图 3-8 所示。

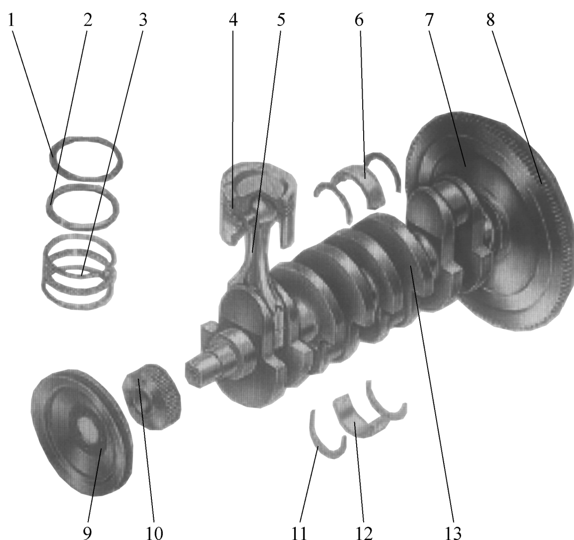


图 3-8　曲柄连杆机构

1—第一道活塞环（气环）　2—第二道活塞环（气环）　3—第三道活塞环（油环）　4—活塞　5—连杆组总成　6—上主轴瓦　7—飞轮　8—飞轮齿圈　9—曲轴减振器　10—曲轴齿轮　11—主轴瓦止推片　12—下主轴瓦　13—曲轴

一、气缸体总成

气缸体是发动机的骨架，在整个发动机中起着支撑的作用，几乎发动机所有运动零、部件和附件都装在上面。因此，对气缸体的强度和刚度要求很高，同时要求其结构紧凑、重量较轻（减轻发动机的整体重量），而且必须能承受高温、高压的气体作用力。气缸体上部是气缸，下部是曲轴箱，除此之外，气缸体还是燃烧室、曲柄连杆机构、配气机构、润滑系统和冷却系统的共同组成部件。

下面以 WP10NG336E40 LNG 发动机气缸体为例，分析气缸体的主要结构、作用、要求以及使用维修的基本知识。

1. 气缸体

气缸体俗称机体，是发动机的支撑基体。气缸体的结构（气缸体带飞轮壳）如图 3-9 所示，主要作用和要求如下。

（1）气缸体的作用

1）支撑作用。用于安装发动机的零部件。

2）组成发动机燃烧室。气缸孔与活塞顶、气缸盖底面一起形成发动机燃烧做功的

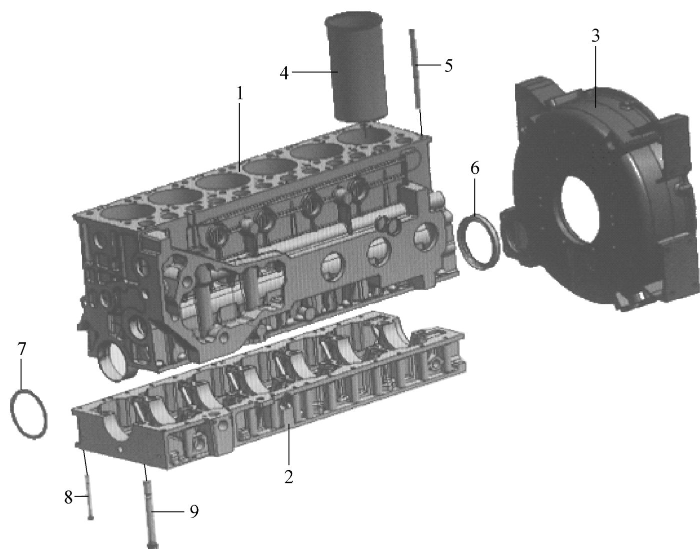


图 3-9　气缸体（带飞轮壳）的结构

1—气缸体　2—曲轴箱　3—飞轮壳　4—气缸套　5—气缸盖螺栓　6—后油封
7—止推片　8—六角头螺栓　9—主轴承螺栓

空间。

3）组成曲轴箱的曲轴安装座、孔。

4）组成润滑系统，满足发动机曲轴、连杆等零部件的润滑要求，保证其正常工作。

5）组成冷却系统，将发动机燃烧过程中产生的热量散去，保证发动机活塞、活塞环、连杆等零部件正常工作。

在气缸体上设置有气缸孔，用以引导活塞往复运动和形成燃烧室的空间。

（2）气缸体的要求　要求气缸内孔表面具有耐高温、耐高压、耐磨损和耐腐蚀性能。为满足其性能，往往采取在气缸孔内壁压入耐磨、耐高温的气缸套，以提高气缸孔的耐磨性，延长气缸的使用寿命，降低发动机的制造成本，同时要求气缸体及安装在气缸体上的零部件、附件，在装配后不得出现漏水、漏气、漏油等现象。

由于气缸体的气缸孔上部要密封气缸并与活塞、气缸盖一起构成燃烧室，且经常与高温、高压燃气相接触，承受较大的热负荷和机械负荷，因此发动机的气缸体内部设置有冷却水套，利用汽车散热器的循环冷却液来冷却气缸体。

为了提高气缸孔的润滑性能，在气缸套内孔加工有网纹，易于使气缸孔内壁粘附一层润滑油膜，以减少活塞、活塞环与气缸孔的摩擦力，减少活塞、活塞环在气缸孔内往复运动中与气缸孔内壁摩擦而产生的热量。

气缸体采用高强度灰铸铁铸造，平分式气缸体结构（以曲轴中心线为准水平分成上下两部分），曲轴中心线上部为气缸体，下部为曲轴箱，如图 3-9 所示。在气缸体与曲轴箱之间设置有垫片。由于气缸体与曲轴箱上的两半圆曲轴孔是组合在一起加工而成的，因此，气缸体与曲轴箱不可拆开互换，必须配对使用，其中一个损坏，则必须两者一起更换。

气缸体的前端与正时齿轮室座连接，后端与飞轮壳相连接，在气缸体右面上部铸造有板翅式机油冷却器腔壳体，七道凸轮轴轴承位于气缸体右内侧，机油滤清器安装在气缸体下部

左侧。

气缸体上设置了七道主轴承，主轴承的宽度全部相同，止推片位于第二道主轴承两侧。

装配时，气缸体前端与正时齿轮室座连接处、后端与飞轮壳接合面连接处应均匀涂密封胶（乐泰 510）。

气缸体上安装曲轴的主轴承盖连接螺栓采用 10.9 级机械性能等级，螺栓的连接紧固必须按照对角、交叉的顺序分两次进行，不可依次一步拧紧到螺栓规定力矩值，否则会造成曲轴弯曲变形、曲轴旋转不灵活现象。同时要求同一曲轴箱的主轴承盖连接螺栓采用同一机械性能等级，否则会出现紧固力矩大小不一现象。

图 3-10 是主轴承盖螺栓拧紧顺序，图中的编号是拧紧螺栓的先后顺序。拧紧主轴承盖螺栓的要求如下：

1）将主轴承盖螺栓螺纹部分均匀地涂上一层润滑油。

2）将主轴承盖螺栓紧固力矩按图 3-10 上的顺序拧紧到 50N·m。

3）再按图 3-10 上的顺序将主轴承盖螺栓紧固力矩拧紧到 250^{+30}_{0} N·m。

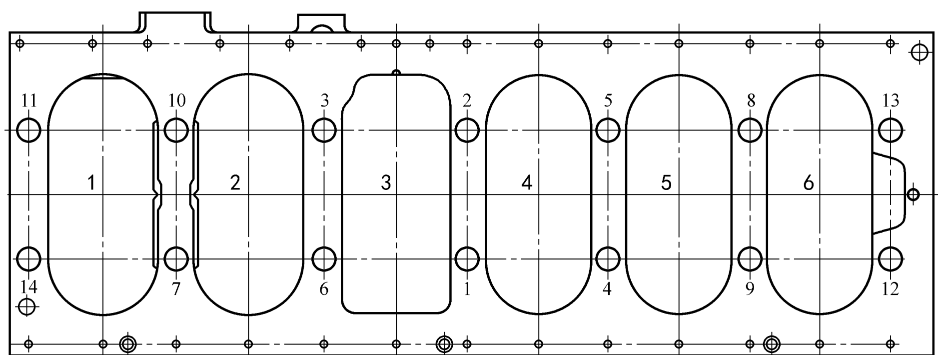


图 3-10　主轴承盖螺栓紧固力矩拧紧顺序

2. 气缸套

（1）气缸套的作用　气缸套采用高磷的优质合金铸铁材料，采取热处理工艺制造，再压入气缸体缸孔内。

1）气缸套镶在气缸体的缸筒内，与活塞、气缸盖共同形成密闭空间，组成燃烧室。

2）承受活塞侧推力，为活塞往复运动导向。

3）将发动机燃烧中产生的热量传递给气缸体冷却水套，通过散热器散走，避免因高温而出现活塞、活塞环与气缸套拉缸现象。

（2）气缸套的要求　气缸套内孔表面应具有耐高温、耐高压、耐磨损和耐腐蚀性能，使活塞、活塞环运动中摩擦较小，且气缸孔表面应能储存一定量的润滑油。

气缸体采用干式气缸套结构，气缸套外径与气缸体上缸套内孔为过渡配合，以便于在发动机气缸套孔磨损后，方便更换气缸套。

气缸套内孔表面加工有平台网纹，这对加快发动机的磨合、增加气缸孔内壁储油、降低活塞及活塞环与气缸孔的摩擦力以及提高气缸套内孔的耐磨性有良好的效果。

气缸套压入气缸体后，采用气缸套上台肩支撑在气缸体上，如图 3-11 所示。气缸垫压在气缸套的上部，以保证气缸套能承受燃烧过程中产生的径向惯性冲击力（活塞侧压力）

以及活塞往复运动中的轴向负荷（活塞往复运动产生的拉力）。

气缸套内孔尺寸分为两组，A 组尺寸标记为绿色或用字母 A 标记在气缸套上，B 组尺寸标记为红色或用字母 B 标记在气缸套上。维修更换气缸套时，同一台发动机必须安装同一组别气缸套，推荐优先选用 A 组气缸套。

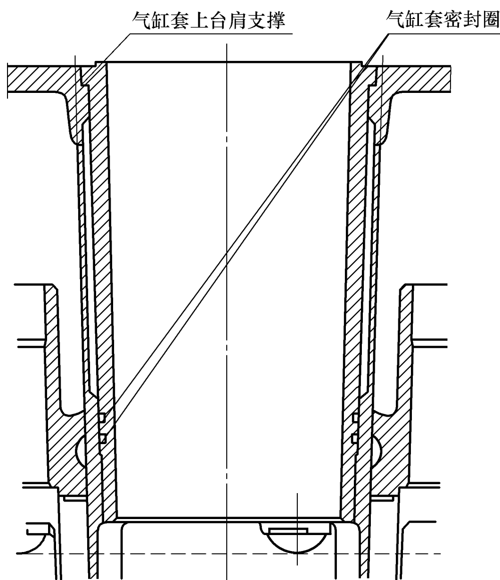


图 3-11　气缸套台肩支撑方式

LNG 发动机由于燃烧温度比柴油发动机高，所以，对气缸套的耐热、耐磨损要求比柴油发动机气缸套高，对气缸套所用的合金材料、热处理要求也比柴油发动机气缸套更严格，对气缸套的网纹加工要求也非常高。

气缸套为 2. 0mm 薄壁气缸套，因此压入气缸体后，还需要进行镗削加工。

3. 曲轴箱

气缸体下部用来安装曲轴的部位称为曲轴箱，曲轴箱分上曲轴箱和下曲轴箱。上曲轴箱与气缸体铸成一体，下曲轴箱用来储存润滑油，并封闭上曲轴箱。下曲轴箱又被称为油底壳，它位于发动机的下部，用螺栓与气缸体连接。

曲轴箱带正时齿轮室、机油滤清器总成，其结构如图 3-12 所示。

（1）曲轴箱的作用　承受发动机的负荷，封闭曲轴箱，保护曲轴和存放机油，安装发动机前悬置、机油滤清器、机油标尺。

（2）曲轴箱的要求　刚度好、强度高，能承受发动机做功行程产生的燃烧爆发力；曲轴箱的七道曲轴孔不能变形，以保证与下曲轴箱（油底壳）的密封性；同时还应当具有降低噪声、消除噪声的功能。

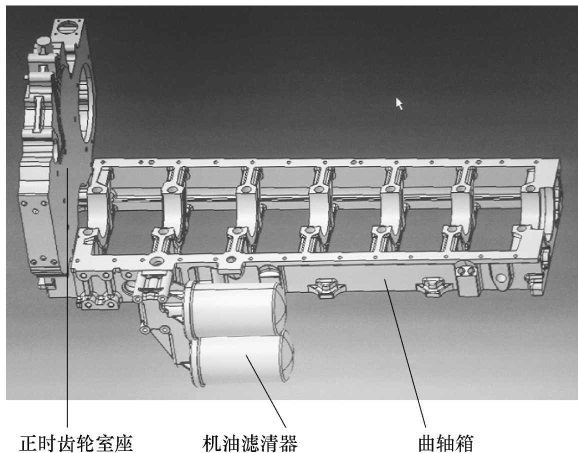


图 3-12　曲轴箱（含正时齿轮室、机油滤清器）结构示意

下曲轴箱是由钢板冲压制成的深度不等的壳体，下部有放油口。为防止漏油，在上、下曲轴箱接合面之间装有密封衬垫。

油底壳受力很小，采用优质薄钢板冲压而成，如图 3-13 所示。其形状取决于发动机的总体布置和机油的容量。油底壳内装有挡油板，以防止汽车颠簸时油面波动过大。油底壳底部还装有放油螺塞，通常放油螺塞上装有永久磁铁，用来吸附润滑油中的金属屑，以消除金属屑对发动机零部件的损伤。在油底壳结构设计时，还应考虑到对发动机噪声的影响（薄钢板冲压油底壳噪声的振幅、传递），也可采取在曲轴箱外侧装隔声护板，达到隔噪消音的

目的。

装配曲轴箱与油底壳紧固螺栓时，应当遵循螺栓对角交叉、分两次均匀拧紧紧固力矩的装配原则。

切忌：

1）顺序依次拧紧，会出现先拧紧的螺栓紧固，后拧紧的螺栓紧固不到位现象，会造成油底壳变形，漏机油。

2）一次拧紧到螺栓规定值，会出现拧紧螺栓受力不匀、紧固不牢现象，会造成油底壳变形，漏机油。

4. 气缸盖总成

气缸盖安装在气缸体的上面，从上部密封气缸并与活塞、气缸套内孔构成燃烧室。它经常与高温、高压燃气相接触，因此承受很大的热负荷和机械负荷。发动机的气缸盖内部设置有冷却水套，气缸盖下平面的冷却水孔与气缸体上平面的冷却水孔相通。利用发动机的循环水来冷却燃烧室等高温零部件。

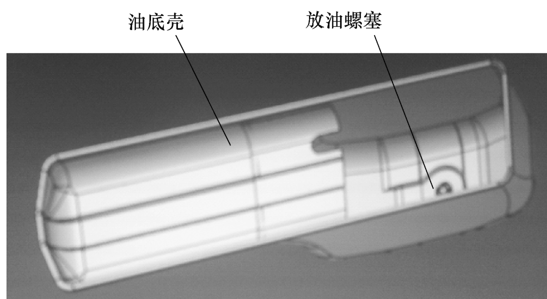


图 3-13　钢板冲压油底壳

在气缸盖上还装有进、排气门座，气门导管，用于安装进、排气门，同时在气缸盖上还设置有进气通道和排气通道等。LNG 发动机的气缸盖上加工有安装火花塞的孔（柴油机的气缸盖上加工有安装喷油器的孔）。

（1）气缸盖的作用

1）密封气缸并与活塞、气缸套内孔构成燃烧室。

2）构成发动机的进、排气通道。

3）支撑和安装进气门、排气门、气门摇臂、火花塞（喷油器）和节温器等零部件。

4）与气缸体一起构成冷却系统、润滑系统。

（2）对气缸盖的要求

1）有足够的刚度、强度以及耐高温性能、冷热交变性能（在冷热交替冲击下不变形），以保证发动机在热负荷应力、高压气体压力的作用下能可靠工作。

2）与气缸套形成良好的密封空间。

3）具有可靠的冷却性能，以保证安装在气缸盖上的零部件能可靠工作，保证在高温工作区域的零部件能得到良好的冷却，避免两气门间（鼻梁处）承受高温负荷，而不出现裂纹。

4）铸造工艺性、加工工艺性要好。

5）重量轻、体积小、易装配。

6）在高温、高压力工作负载下变形较小。

重型载货汽车的气缸盖一般都采用灰铸铁或合金铸铁铸造，采取正火热处理，以消除气缸盖的铸造内应力，保持气缸盖基体组织的稳定，避免气缸盖在承受发动机燃烧热负荷时产生变形。

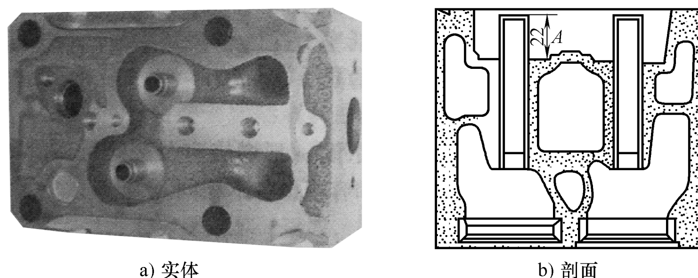
气缸盖一旦变形，将会造成与气缸体、气缸垫密封不严，出现漏气、窜气（冲气缸垫）

的现象。同时，因为燃烧室的高温燃气会窜入散热器，造成汽车工作温度过高（汽车冷却液温度过高）。

气缸盖是燃烧室的重要组成部分。燃烧室的形状对发动机的燃烧效率影响很大，由于 LNG 发动机和柴油发动机的燃烧方式不同，两种发动机在气缸盖上组成燃烧室的形状差别较大。

LNG 发动机的混合气在发动机混合器里混合，所以燃烧室的结构形状简单，对混合气的流动形式没有要求。而柴油机的燃油与洁净空气的混合是在燃烧室里进行，为了保证柴油与洁净空气混合充分，不仅要求经空气滤清器过滤的洁净空气在气缸盖进气道内要形成较强的旋涡气流，而且还要求活塞顶部的燃烧室内也必须有一定的涡流强度，这样才能保证柴油与洁净空气形成良好的混合油雾气。所以柴油发动机在燃烧室内中间铸造有凹坑，且活塞顶部燃烧室面上有缩口，通常将柴油发动机的这种燃烧室称为直接喷射式燃烧室，或者按燃烧室的形状称为 ω 形直接喷射燃烧室，如图 3-4 所示。而 LNG 发动机的燃烧室则采用形状简单的盆形燃烧室或半球形燃烧室，如图 3-3 所示。

WP10NG336E40N LNG 发动机气缸盖采取每缸一盖的形式，如图 3-14 所示。它的优点是气缸盖长度较短，对气缸盖的变形敏感较小，但缺点是整个发动机六个缸盖合起来体积较大，结构不够紧凑。每一个气缸盖上布置有两个进气门、两个排气门，进气管、排气管分布于气缸盖两侧。



a) 实体　　b) 剖面

图 3-14　WP10NG336E40N LNG 发动机气缸盖

气缸盖紧固螺栓采用 12.9 机械性能等级。为了避免气缸盖的变形，安装时对气缸盖与气缸体上连接的紧固螺栓必须按对角、交叉分四次均匀拧紧，不可依次一下拧紧到螺栓规定力矩值，否则会造成气缸盖翘曲变形、冲气缸垫现象。同时要求同一气缸盖的连接螺栓必须采用同一机械性能等级，否则会出现紧固力矩大小不一现象。

图 3-15 是气缸盖螺栓拧紧顺序，图中的编号是拧紧气缸盖螺栓的先后顺序。拧紧气缸盖螺栓的程序如下：

1）将气缸盖螺栓螺纹部分均匀地涂上一层润滑油。

2）将气缸盖螺栓拧紧到 30^{+20}_{0} N · m。

3）按图 3-15 上的顺序将气缸盖螺栓拧紧到 200^{+10}_{0} N · m。

4）按图 3-15 上的顺序将气缸盖螺栓拧紧 90°转角。

3）按图 3-15 上的顺序将气缸盖螺栓拧紧 90°转角，同时达到 240 ~ 340N · m。

二、活塞连杆组

活塞连杆组是发动机重要的运动零部件。活塞连杆组主要由活塞、活塞环、活塞销、连

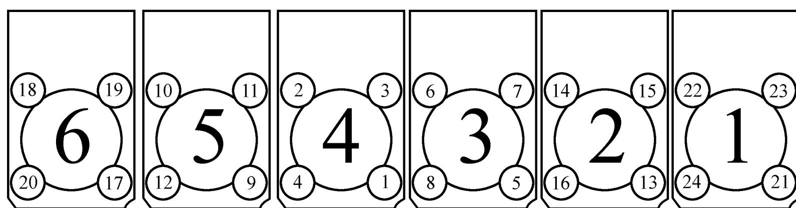


图 3-15　气缸盖螺栓拧紧顺序

杆、连杆盖及连杆瓦等组成，如图 3-16 所示。

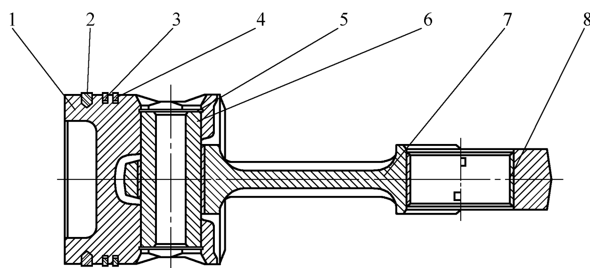


图 3-16　活塞连杆组件

1—活塞　2—第一道气环（梯形桶面环）　3—第二道气环（内切锥面环）　4—油环部件　5—孔用弹性挡圈
6—活塞销　7—连杆部件（连杆衬套、连杆螺栓、连杆体、连杆盖和连杆螺母）　8—连杆瓦

（1）活塞连杆组的功用　把发动机燃烧过程中产生的活塞往复直线运动变为曲轴的旋转运动，并对外输出动力，通过汽车变速器、车桥等机构驱动车轮转动。

连杆小头与活塞销连接后与活塞一起作往复运动，连杆大头与曲轴曲柄销连接，同曲轴一起作旋转运动，因此在发动机工作时，连杆作复杂的平面运动。

连杆组主要承受压缩、拉伸和弯曲等交变负荷。最大压缩载荷出现在做功行程上止点附近，最大拉伸载荷出现在进气行程上止点附近。在压缩载荷和连杆组作平面运动时产生的横向惯性力的共同作用下，连杆体极容易发生弯曲变形。

（2）对活塞连杆组的要求　能够承受发动机燃烧过程中产生的高温、高压负荷，承受活塞连杆组在高速直线往复运动中产生的拉伸、压缩交变载荷以及活塞、活塞环与气缸套摩擦产生的高温热负荷。

1. 活塞

由于活塞顶部直接与高温、高压燃气接触，LNG 发动机燃烧做功瞬时温度高达 1884℃左右，因此活塞的温度很高。由于高温使活塞材料的力学性能下降，同时也会造成活塞受热膨胀，极易使活塞与气缸套内孔壁形成拉伤（拉缸）。

活塞在气缸孔内作往复加速运动，其速度可达 10m/s。高速时会产生很大的惯性力，活塞承受的惯性力都是呈周期性变化的，这就使活塞的不同部位受到不断变化的拉伸、压缩和弯曲载荷，且由于活塞各部位的温度非常不均匀，因此活塞内部产生的应力变形也不同，形成很大的热应力。

为了减少摩擦力，活塞裙部往往设计成桶形、变椭圆截面，如图 3-17 所示。为了减轻活塞运动的重量，从而减少活塞往复运动中的惯量，在活塞裙部不受侧压力的两边下部各去

掉一块，成为半拖裙式裙部，以减少活塞与气缸套导向长度，减少摩擦，同时还可以减短连杆长度，防止活塞裙部与曲轴拐碰撞。

活塞上加工有三道活塞环槽，第一道、第二道环槽为气环槽，第三道环槽为油环槽。

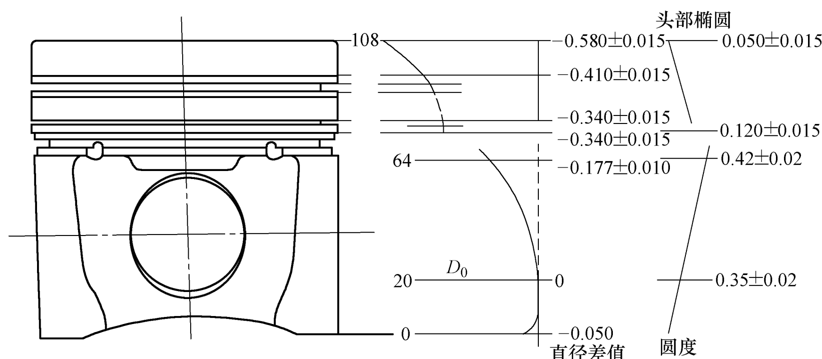


图 3-17　活塞桶形裙部

活塞重量分组：为了保证发动机运转平稳，每一台发动机的活塞重量差，要求控制在一定的偏差值范围之内，因此每一组活塞重量都进行了配重，按重量进行分组，并做好重量分组标记。在维修时必须保证同一台发动机活塞重量相同（重量记号相同）。

活塞尺寸：为了保证活塞外径与气缸套内孔配合尺寸合理，活塞裙部最大尺寸也进行了分组，并做好尺寸分组标记。在维修时必须保证同一台发动机活塞尺寸相同（尺寸记号相同）。

2. 活塞环

活塞受热膨胀变形较大，为了避免活塞受热膨胀后与气缸套内孔摩擦，保证活塞在气缸内高速往复直线运动，活塞与气缸套之间必须保证留有足够的间隙，而气缸的密封则依靠活塞环。活塞环装在活塞头部的环槽中，分为两道气环、一道油环。

（1）活塞环作用　气环的主要功用是消除活塞与气缸套内孔的间隙，形成燃烧室密闭的空间，保证燃烧室的压力，防止气缸内的可燃混合气和高温燃气从活塞与气缸套内孔的间隙中窜入曲轴箱；并将活塞顶部接受的热传给气缸壁，通过气缸体冷却水套散热，避免活塞过热烧蚀。

油环的主要功用是刮除飞溅到气缸壁上多余的机油，并在气缸壁上涂布一层均匀的润滑油膜。

（2）对活塞环的要求　具有一定的扭转、弯曲变形能力，具有一定的回弹张力，耐高温、耐摩擦，有一定的抗冲击能力。

两道气环用来密封气体，同时将活塞的高温传递给气缸壁，通过气缸体的冷却水套散走。一道油环用来刮去气缸壁上多余的润滑油，防止润滑油进入燃烧室燃烧。三道活塞环的开口呈 120°交叉装配，切不可开口相对。

活塞环工作时受到气缸中高温、高压燃气的作用，并在润滑不良的条件下在气缸内高速滑动。由于气缸壁面的形状误差，使活塞环在上下滑动的同时还在环槽内产生径向移动。这不仅加重了环与环槽的磨损，还使活塞环受到交变弯曲应力的作用而容易折断。

当活塞环严重磨损弹力大幅降低，或者三道活塞环开口相对时，活塞环将失去密封作

用，会造成发动机动力下降、曲轴箱压力升高、机油变质、排气冒蓝烟（烧机油）、燃烧室及活塞严重积炭等不良现象，严重者还会造成活塞环卡死在活塞环槽内，划伤气缸孔壁。

活塞环的开口间隙，对发动机燃烧室的密封起到非常大的作用，每一种型号的发动机对活塞环的开口间隙都有不同的要求，在维修时必须按发动机对活塞环开口间隙的要求相配，保证活塞环的开口间隙。

活塞环的安装方式如图 3-18 所示。

3. 活塞销

活塞销的作用是连接活塞和连杆小头，将发动机燃烧中活塞受到的作用力传递给连杆。活塞销与活塞是过盈配合，装配时须将活塞加热后再分别穿入活塞销、连杆。

在汽车维修时，活塞销的拆卸、装配都必须将活塞加热至 80～100℃后，方才可进行拆卸、装配（活塞加热后，活塞销孔径增大，活塞销会自动掉出）。未经加热就进行拆卸、装配，会损坏活塞销孔，以致造成活塞报废。

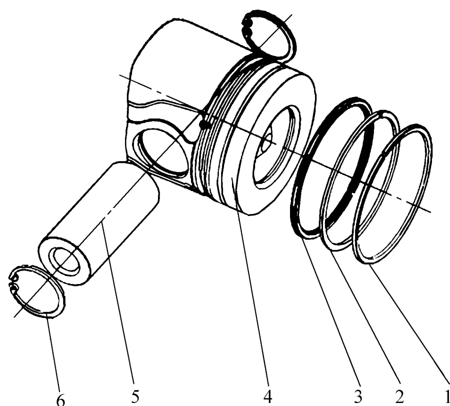


图 3-18 活塞环的安装方式

1—第一道气环（梯形桶面环） 2—第二道气环（内切锥面环）
3—第三道（油环部件） 4—活塞
5—活塞销 6—孔用弹性挡圈

4. 连杆

习惯上常常把连杆体（连杆小头衬套）、连杆盖和连杆螺栓合起来称作连杆总成，如图 3-19 所示，有时也将连杆体称为连杆。

连杆是发动机里受载荷最复杂的零件。连杆既要承受发动机压缩行程、排气行程中的推压力，还要承受进气行程、燃烧膨胀行程中的拉力，同时还要承受曲轴旋转运动中的弯扭交变应力，而且这些载荷会随着活塞运动的加速度变化而不断发生变化。

连杆的作用是连接活塞与曲轴，把活塞承受的力传递给曲轴，并将活塞的往复直线运动变为曲轴的旋转运动。

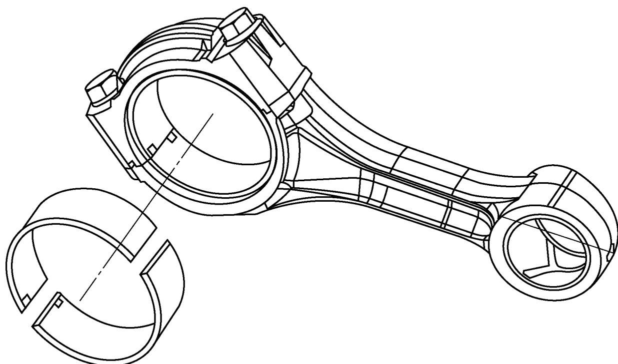


图 3-19 连杆总成

为了能承受较大的负荷，保证连杆有足够的强度，连杆杆身设计成工字形断面，其表面经过强力喷丸处理。为了保证同一台发动机连杆重量差值较小，以减小连杆高速运动中因惯性力产生的运动不平衡，所以，对连杆进行了重量分组，在连杆杆身上打有重量分组标记（图 3-20），分别用字母 C、D、E、F、G、H、J、K、L 等字母表示，每个级别重量差为 29g（不同的发动机连杆重量分组级别也不一样）。由于连杆与连杆盖是组合在一起加工的，连杆与连杆盖不能相互更换，所以在连杆与连杆盖上打有相同配对分组标记记号，如图 3-21 所示。

维修时应注意：

1）各个级别重量的连杆只能装同一台发动机，保证每一台发动机连杆分组重量的字母相同。

2）因连杆与连杆盖孔是组合在一起进行加工的，因此，各连杆与连杆盖不能互换，必须配对记号装配。

3）记号用电火花打上阿拉伯数字 1、2、3、4、5……拆装时必须按编号字母配对装配。

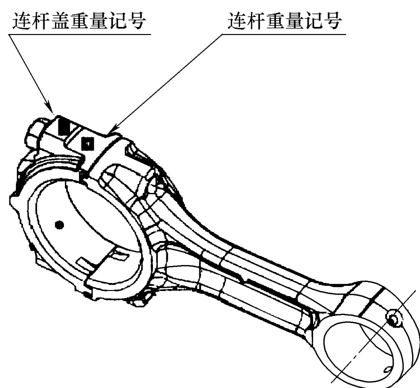


图 3-20　连杆重量标记

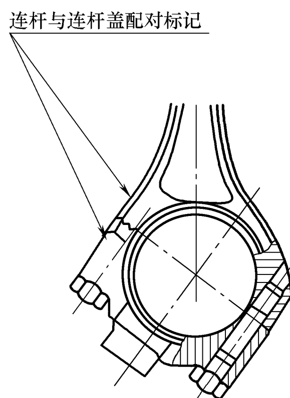


图 3-21　连杆与连杆盖配对标记

WP10NG336E40 LPG 发动机连杆螺栓采用 42GrMo4 合金钢材料制造，机械性能等级为 12.9 级。螺栓头部采用冷镦工艺，杆身调质、连杆表面喷丸处理、圆角滚压强化。螺纹采用滚丝模具滚丝工艺。在装配连杆螺栓时，应采用力矩转角法紧固，即先将连杆螺栓靠紧，再用 120N・m 的力矩对称扭紧，然后再分别将连杆螺栓旋转 90°并检查最终力矩，应达到 200～250N・m。对达不到最终力矩的连杆螺栓应予以更换。



图 3-22　连杆螺栓

连杆螺栓除了要有足够高的强度外，还必须具有一定的柔性，所以连杆螺栓除导向杆部分外，其他部分采取缩颈（较细），如图 3-22 所示。连杆螺栓的螺纹加工精度要求非常高，以保证连杆螺纹副良好的配合。

连杆螺栓是发动机至关重要的一个零件，其质量优劣对发动机正常运转影响极大，因此连杆螺栓只允许使用一次。在装配时应使用乐泰 242 螺纹锁固胶。

注意：连杆螺栓不允许重复使用，不允许超限使用，否则会出现连杆螺栓断裂，导致发动机机毁的重大事故。

5. 连杆轴承（连杆衬套）

连杆轴承采用钢背双金属薄壁轴承，如图 3-23 所示。连杆轴承在金属合金钢板上烧结 Pbsh18Cuz 合金，在合金层表面烧结有防腐材料。因为合金层较薄，所以维修时，轴承只能更换而不能刮削。轴承上的凸出键镶入连杆、连杆盖的凹槽内，以防止轴承在旋转运动中移动或者转动。

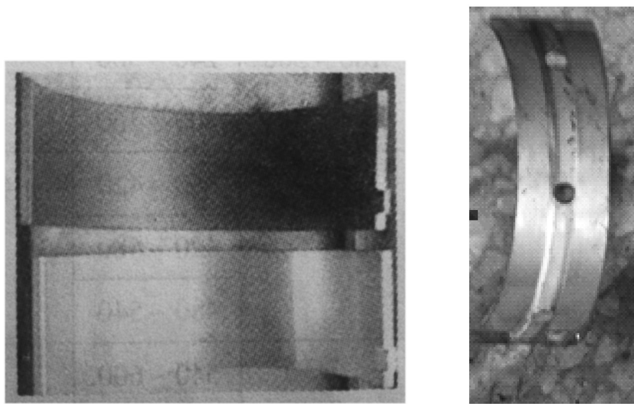


图 3-23 连杆轴承

连杆上下轴承的材料是不同的，上轴承能承受更高的爆发压力，维修时一定要注意上下轴承不能装错了。

连杆的小头轴承衬套采用薄壁双金属巴氏合金衬套，衬套壁厚为 1.00 ~ 1.75mm，这种衬套的特点是承载力强、散热性好、结构简单和维修方便。其结构如图 3-24 所示。

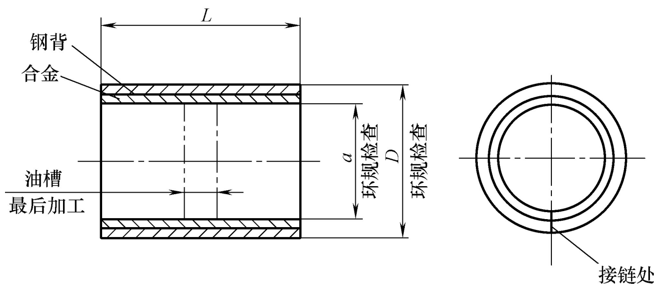


图 3-24 连杆小头双金属薄壁合金衬套

双金属薄壁合金衬套，实则为在优质冷轧钢板上烧结一层巴氏合金卷制而成。衬套外圆与连杆小头的配合，未采用通常的过盈配合，而是将薄壁衬套压入连杆小头孔后，采取挤压、涨紧在连杆小头衬套内孔，再镗削加工，使衬套外圆与连杆小头孔贴合良好。维修时也必须采用此种方法加工更换衬套。

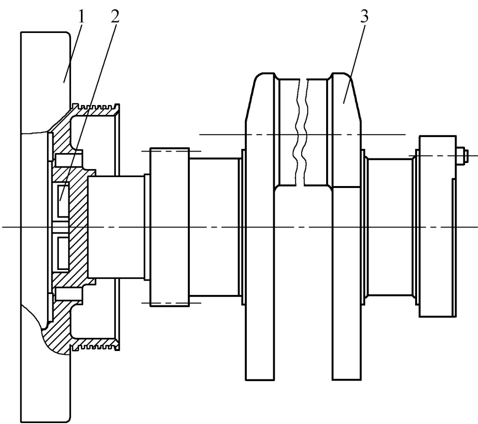


图 3-25 曲轴飞轮组

1—硅油减振器部件 2—减振器螺栓

3—曲轴部件（曲轴、圆柱销、曲轴齿轮）

三、曲轴飞轮组

曲轴飞轮组主要由曲轴、飞轮以及其他不同作用的零件和附件组成，如图 3-25 所示。其零件和附件的种类及数量取决于发动机的结构和性能要求。

曲轴飞轮组的作用是将活塞连杆的往复运

动转变为曲轴的旋转运动，为汽车的行驶和其他需要动力的机构输出转矩。同时还能储存能量，用以克服非做功行程的阻力，使发动机运转平稳。

（1）曲轴的作用

1）在做功行程中，将连杆传给曲轴的推力变成旋转的转矩，经汽车传动系统驱动汽车行驶。

2）利用曲轴和飞轮的旋转惯性，经连杆带动活塞上下运动，完成进气、排气、压缩等辅助行程。

3）带动凸轮轴旋转，并与凸轮轴的凸轮完成配气相位的正时功能。

4）驱动配气机构、机油泵、风扇、水泵、发电机和空气压缩机等附属装置。

六缸发动机的点火次序为 1-5-3-6-2-4。

（2）飞轮的作用

1）储存做功行程时的动能，用以克服辅助行程时的阻力，使曲轴旋转均匀。

2）飞轮外圈装有齿圈，用以和起动机啮合，驱动曲轴旋转，使发动机起动。

3）飞轮是离合器的主动部分，飞轮边缘刻有第一缸活塞位于上止点的标志（刻线或钢球），用以作为调整和检查点火正时的依据。也可作为汽车行驶中发动机转速的测量点。

（3）对飞轮的要求　飞轮的强度、冲击韧性和耐磨性要好，应用合金钢或者球墨铸铁制造而成，以减少曲轴的振动，避免旋转运动中产生共振。

飞轮与曲轴组合在一起进行动平衡校验，其动平衡量必须控制在发动机所要求的动平衡量之内。

汽车维修时，若需更换曲轴或者飞轮，必须进行动平衡校验。一般情况下，不得轻易拆分曲轴。若需拆卸飞轮与曲轴组件时，则必须在飞轮与曲轴组件上做好记号，以保证装配复原时能对准记号还原装配。

第三节　配气机构

配气机构是 LNG 发动机的重要组成部分。配气机构的功用是按照发动机每一气缸内所进行的工作循环和发火次序的要求，定时开启和关闭各气缸的进气门、排气门，使混合气充量得以及时进入气缸，废气得以及时从气缸排出，在压缩与膨胀行程中，保证燃烧室的密封。

混合气充量充满气缸的程度用充气效率表示，充气效率越高，表明进入气缸内的混合气充量质量越大，可燃混合气燃烧时可能放出的热量越大，发动机发出的功率也越大。

一、配气机构的功能

发动机的配气机构是汽车非常重要的一个组成部分，负责完成发动机各气缸的进气和排气。配气机构同时还要保证整个工作状态的准确动作和工作环境的高度密封，绝不允许出现漏气或断气的现象。

LNG 载货汽车发动机采用顶置气门形式，为齿轮传动式，有二气门和四气门两种形式。

配气机构分为气门组和气门传动组两大部分。气门组包括气门及与之相关联的零部件。气门传动组是从正时齿轮开始至推动气门动作的所有零部件，它的功用是定时驱动气门使其打开。进气门和排气门都倒挂在气缸盖上。气门组组成如图 3-26 所示。

气门组包括进气门、排气门、气门导管、进气门座圈、排气门座圈、气门弹簧座、气门弹簧、气门锁夹和气门油封等零件。

气门传动组一般由摇臂、摇臂轴、推杆、挺柱、凸轮轴和正时齿轮组成。

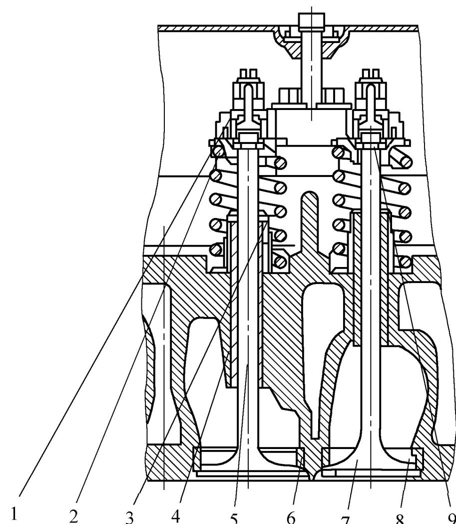


图 3-26　气门组装配示意
1—气门弹簧座　2—气门弹簧　3—气门油封　4—气门导管　5—进气门　6—进气门座圈　7—排气门　8—排气门座圈　9—气门锁

二、凸轮轴总成

凸轮轴总成包括凸轮轴、凸轮轴正时齿轮、凸轮轴止推垫片、凸轮轴隔圈、平键、螺栓和垫圈等零部件，如图 3-27 所示。

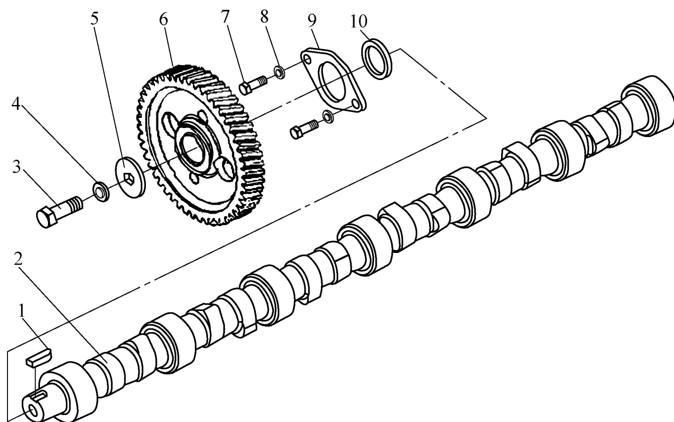


图 3-27　凸轮轴总成
1—平键　2—凸轮轴　3、7—螺栓　4、5、8—垫圈　6—凸轮轴正时齿轮　9—凸轮轴止推垫片　10—凸轮轴隔圈

（1）凸轮轴的作用　凸轮轴是发动机里的一个重要部件，它的作用是控制气门的开启和关闭动作。

（2）对凸轮轴的要求　高精度的凸轮型线，凸轮表面应耐磨，并且有足够的韧性和刚度。

四冲程发动机凸轮轴的转速是曲轴的一半。凸轮轴的转速很高，而且需要承受很大的转矩，因此设计中对凸轮轴在强度和支撑方面的要求很高。凸轮轴采用合金钢进行模具锻造而成，或者采用优质球墨铸铁铸造而成。

LNG 载货汽车发动机的曲轴和凸轮轴的传动方式为齿轮传动。当发动机起动时，起动机带动曲轴旋转，活塞正常运转后，凸轮轴随即通过齿轮传动获得由曲轴输出的旋转动力，凸轮推动进气门、排气门上下往复运动，形成开闭状态来吸入混合气，或者释放燃烧后的

废气。

由于凸轮轴两侧布置着进气门、排气门，所以凸轮轴每旋转一周，则会分别控制进气门、排气门各自开启一次，而当凸轮轴上的凸轮旋转脱离气门瞬间，气门就会失去推动力然后自动由气门弹簧回位关闭严密。

LNG 发动机为四冲程发动机，其进气门、排气门仅分别在进气和排气行程时开启，而在每个进、排气循环过程中，控制进气门、排气门的凸轮轴分别旋转一圈，带动它们的曲轴则需要旋转两圈，即曲轴转速与凸轮轴转速的传动比为 2:1。

三、齿轮传动系统

LNG 发动机齿轮系由凸轮轴齿轮、曲轴齿轮、机油泵齿轮、惰齿轮及空压机齿轮组成，如图 3-28 所示。

齿轮系的齿轮上都有标记，装配时，旋转曲轴，使发动机第一缸处于上止点位置，凸轮轴上“00”标记与曲轴上“0”标记对准，其他齿轮直接装配。

正时齿轮系的传动是发动机乃至汽车噪声的主要噪声源之一，齿轮加工精度的优劣、齿轮侧隙的大小，会直接影响到发动机的噪声大小，同时还会对配气相位的准确性和气门密封带来很大的影响。同时由于齿轮侧隙增大，齿轮传动中会产生很大的冲击力，对齿轮的强度也会带来很大的影响。

齿轮系的作用是确保发动机的配气准确，供气（点火）正时，同时，驱动机油泵保证发动机润滑，驱动空气压缩机运转，产生汽车驻车制动动力。

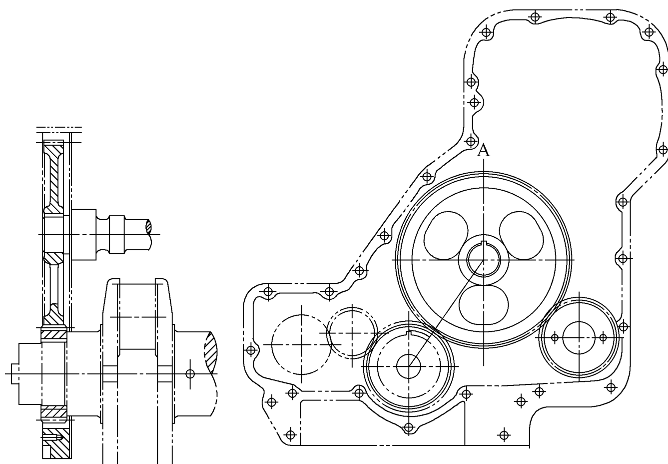


图 3-28　齿轮传动系示意

齿轮室用合金灰铸铁铸造而成，齿轮采用合金钢锻造或者优质球墨铸铁铸造而成。

四、配气相位

为了保证 LNG 发动机进气、排气充分，进气门在活塞运行到上止点之前会提前开启，排气门在活塞运行到下止点之前会提前打开，这样气门从打开到关闭的曲轴转角，就称为配气相位，如图 3-29 所示。



每一种型号的发动机配气相位都不相同。为了保证配气相位准确，在发动机的齿轮系啮合齿上有装配“0、0”标记或者“0”标记，在装配正时齿轮系时，“0、0”标记与“0”标记分别对准。

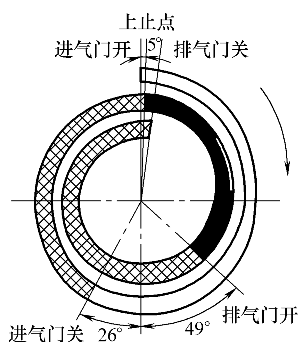


图 3-29　WP10NG336E40 发动机配气相位

1. 进气相位

（1）进气提前角　在排气行程接近终了时，活塞到达上止点前，进气门便提前打开，从进气门打开到上止点之间所对应的曲轴转角，就叫进气提前角。进气门提前打开，保证了进气行程开始阶段提前进气，有利于提高发动机进气量。

（2）进气延迟角　活塞越过进气下止点，开始上行（压缩行程开始）一段时间后，再关闭进气门，从下止点延迟至气门关闭所对应的曲轴转角，称为进气延迟角。延迟进气门关闭时刻，能够充分利用进气行程结束前缸内存在的压力差和较高的气流惯性继续进气。下止点过后，随着活塞的上行，气缸内的压力也逐渐减小，当气缸内外压力差消失，流速接近零时，关闭进气门，此时所对应的进气延迟角最佳。若进气延迟角过大，会出现进入气缸的进气发生回流现象。

2. 排气相位

（1）排气提前角　在做功行程接近终了时，活塞到达下止点前，排气门便提前打开，从排气门打开到下止点之间所对应的曲轴转角，就叫排气提前角。排气门适时一段时间提前打开，虽然会损失一定的功率，但是可以利用较高的缸内压力，将大部分燃烧废气迅速排出，待活塞开始上行时，缸内的压力已经大大下降，可以减小排气行程所消耗的功率。另外，由于高温废气的有效排出，排气温度也会有所下降，有利于防止发动机过热。

（2）排气延迟角　活塞越过排气上止点，延迟一定时刻再关闭排气门，从上止点到排气门关闭所对应的曲轴转角，称为排气延迟角。活塞到达上止点时，气缸内的压力仍然高于大气压力，由于废气气流具有较高的惯性，适当延迟排气门关闭时刻，可以利用此压力和气流的惯性使废气排得较为干净。

3. 气门重叠角

从图 3-29 可以看出，由于进气门在活塞到达上止点前便打开，而排气门在活塞到达上止点后关闭，这样就出现了在上止点附近，同一时间内进、排气门同时开启，进气、排气二者重叠在一起的现象，称为气门叠开。所对应的曲轴转角，称为气门重叠角。气门叠开期间，进、排气门的开度均较小，而且由于进气气流和排气气流的惯性作用，短时间内不会改变气流的流向，因而只要气门重叠角恰当，就不会出现废气回流进气管，及混合气随同废气一同排出的问题。若气门重叠角过大，发动机在低负荷运行时，则可能出现上述现象，使发动机的混合气回流，功率下降。

4. 配气机构的主要零部件

配气机构由凸轮轴、挺柱体、推杆、摇臂、摇臂轴、气门弹簧及气门导管等一些相关部件组成，如图 3-30 所示。

凸轮轴在发动机上的布置有下置，侧置和顶置等形式，重型载货汽车（LNG 发动机）采用顶置凸轮。

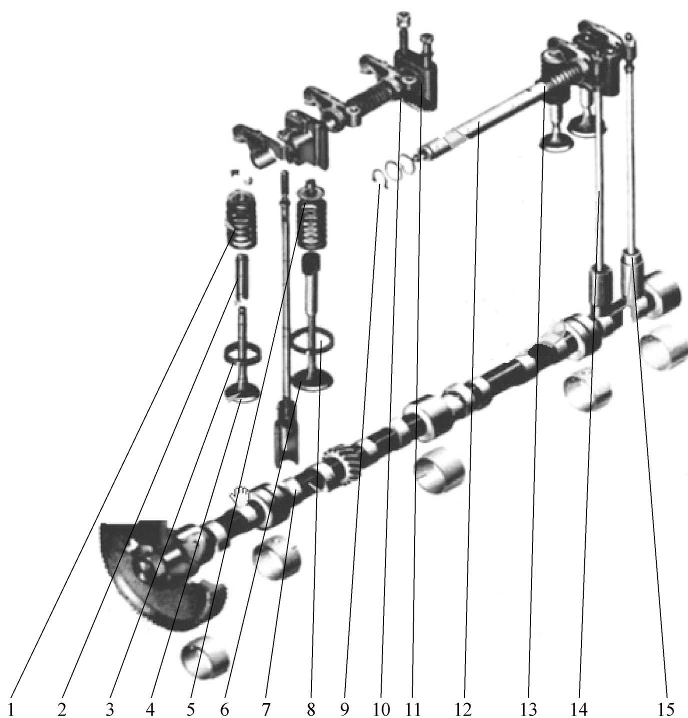


图 3-30　配气机构分解

1—气门弹簧　2—气门套管　3—进气门座圈　4—进气门　5—进气门上座　6—排气门　7—凸轮轴　8—排气门座圈　9—摇臂轴卡簧　10—摇臂、摇臂调整螺栓　11—摇臂座、摇臂螺栓　12—摇臂轴　13—摇臂轴弹簧　14—推杆　15—挺柱体

第四节　燃气供给系统

LNG 不能直接进行燃烧，必须先将 LNG 汽化成气态气体，才能与经过滤后的洁净空气混合燃烧。

LNG 从 LNG 真空绝热气瓶出来，经过汽化器将液体转化成气体，通过缓冲罐并经低压燃气滤清器过滤后，进入稳压器。稳压器控制天然气的压力稳定在发动机工作压力范围内（一般 LNG 重型载货汽车燃气压力为≥ 0. 86MPa ），经过稳压后的天然气通过低压电磁阀（也称为燃料切断电磁阀）再进入电控调压器。电控调压器根据发动机运行工况，精确控制天然气按时按量进入混合器，天然气与经增压及中冷后的洁净空气在混合器内充分混合，由节气门通过节气门开度控制进入发动机缸内的混合气量，在缸内经火花塞点燃进行燃烧（不同发动机供气系统主要部件会有少量差异）。

LNG 发动机燃气供给系统示意如图 3-31 所示。

一、LNG 发动机燃料的形成、流向

1. LNG 汽化

LNG 储液罐（液化气）→汽化气（转化气体）→缓冲罐→燃气滤清器→稳压器→低压电

磁阀→电控调压器→混合器→电子节气门→发动机燃烧室。

2. 汽化器冷却液流向

发动机冷却液→汽化器→发动机回水。

3. 涡轮增压器气体、冷却液流向

发动机冷却液→涡轮增压器→发动机回水。

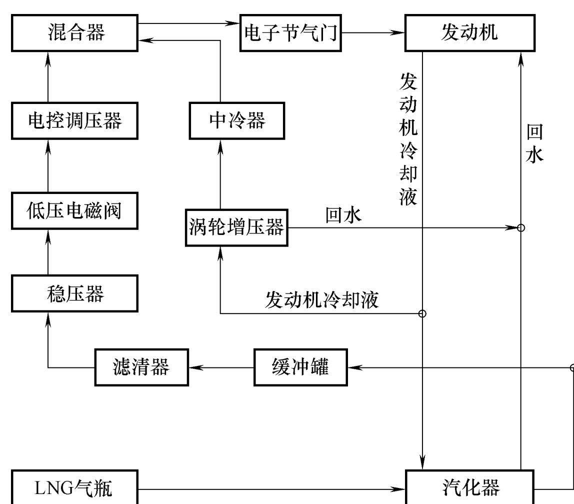


图 3-31　燃气供给系统示意

二、LNG 发动机供气系统的构成

1. LNG 储液瓶

作用：用来储存或者运输 LNG，并具有保温功能，使气瓶内胆温度保持在恒定的温度范围内。

要求：隔热保温，采用双层瓶、内外瓶夹层衬有隔热纤维，并抽真空保温，避免外部热量传递给内胆，从而保证气瓶额定的储液量。

2. 汽化器

作用：将 LNG 转化成气态气体。

要求：通过热交换加热 LNG 方式，将 LNG 气瓶的 LNG 接入汽化器加热管内，同时将 LNG 发动机里未经散热的冷却液接入汽化器腔体，用 LNG 发动机的热能使 LNG 温度升高，将 LNG 汽化成饱和气态气体。

3. 缓冲罐

作用：缓冲罐储备一定量的气体。

要求：满足 LNG 载货汽车加速，或者重载上坡负载突然增大时，LNG 发动机额外燃料的需要。

4. 燃气滤清器

作用：过滤 LNG 里的细微杂质。

要求：LNG 中不可避免地存在一些微小颗粒、杂质，为了避免 LNG 中的微小颗粒、杂质堵塞发动机低压电磁阀，在 LNG 发动机燃气管路上设置了燃气滤清器，过滤经汽化后的气态天然气中的微小颗粒、杂质，避免微小颗粒、杂质堵塞低压电磁阀，造成低压电磁阀的早期损坏，以延长低压电磁阀的使用寿命。

5. 稳压器（调压器）

作用：控制进入发动机的进气压力，稳定进气压力在 LNG 发动机标定压力之内。

要求：发动机燃烧所需供气压力一般最高不得超过 1.3MPa。为了保证进入 LNG 发动机天然气的压力稳定，使进入发动机的压力控制在标定的压力之下，供气系统设置了稳压器（调压器），将发动机天然气的压力控制在 0.65～1.38MPa 范围内。超过该压力可能导致电控调压器失效、发动机无法起动、游车和催化器烧结等故障。

6. 低压电磁阀

作用：及时切断或恢复燃料供给。

要求：根据 ECM 的指令及时切断或恢复燃料供给，停机状态下处于常闭状态。要求安装在电控调压器上面，便于其进行压力调节。

7. 电控调压器（EPR 阀）

作用：控制天然气喷射量。

要求：接受来自 ECM 的控制指令，通过低压电磁阀控制天然气进气量，从而实时有效地控制空燃比。电控调压器（EPR 阀）出气口中心水平高度不能低于混合器进气口中心高度，如图 3-32 所示，图中 $Y_2 \geqslant 25$mm。电控调压器（EPR 阀）天然气出气口离混合器天然气进气口距离要求控制在 500mm 以内，目的是为了让天然气中的杂质流到混合器中随着空气进入发动机气缸内燃烧掉，保持电控调压器（EPR 阀）内的清洁。

8. 混合器

作用：将汽化后的气态气体和中冷后的空气充分混合。

要求：使发动机燃烧更充分、柔和，有利于发动机功率充分发挥，同时有效降低 NO_x 排放和排气温度。

9. 电子节气门

作用：通过控制节气门的开度，控制发动机的转速和负荷。

要求：驾驶人通过加速踏板将动力需求传送给 ECM，ECM 接收到加速踏板信号后，根据发动机运行工况控制电子节气门开度。通过控制节气门开度，控制怠速转速和调速特性曲线。安装电子节气门时，驱动电动机轴线必须保持水平方向。

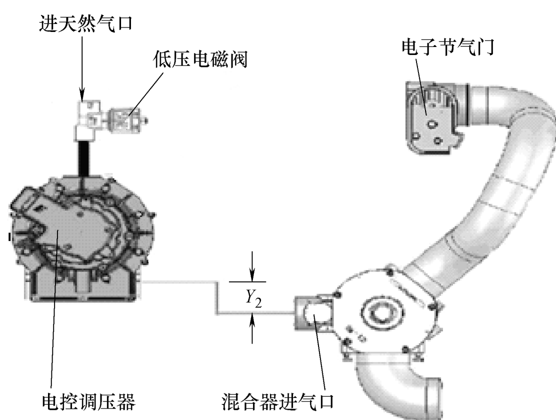


图 3-32　燃气供给系统

第五节　润滑系统

汽车各运动零部件在相对运动过程中，相互运动的零部件之间会产生表面摩擦力，从而产生摩擦热能。若不给相对运动零部件以润滑，减少摩擦力、降低摩擦热，两零部件摩擦副就会产生烧蚀、摩擦、磨损。润滑系统通过向运动的零件表面输送定量的清洁润滑油，以减小运动零部件的摩擦阻力，减轻零部件的磨损，清洗掉零部件表面上的微粒杂质，避免零部件相互拉伤，延长零部件的使用寿命，从而达到提高发动机工作可靠性和耐久性的目的。

一、润滑系统的形式

常见的润滑方式一般分为压力润滑与飞溅润滑两种，无论柴油发动机、汽油发动机还是 LNG 发动机都采取飞溅润滑与压力润滑组合的方式。

1. 飞溅润滑

飞溅润滑是润滑方式中的一种，它的原理是利用旋转部件将润滑油溅到需要润滑的零部

件及轴承润滑部位。这种润滑方式还有一个好处就是，不需要润滑管道，属于无压力润滑方式，不会形成压力润滑油膜，润滑油可以在箱体内循环重复使用。

2. 压力润滑

压力润滑属于强制润滑，它靠机油泵产生一定压力，将压力润滑油通过管道输送给零部件运动摩擦副，由于有压力，所以会形成一定压力的润滑油膜。载货汽车发动机普遍采用齿轮柱塞式机油泵，将柱塞泵装在机壳中，靠它的往复运动来实现泵油，产生润滑所需要的压力。

载货汽车发动机正时齿轮啮合系、摇臂轴与摇臂、推杆与挺柱体以及挺柱体与凸轮副等润滑副都采用飞溅润滑，轴承、轴瓦润滑副则采用压力润滑。图 3-33 所示是 WP10NG336E40LNG 发动机润滑系统示意。

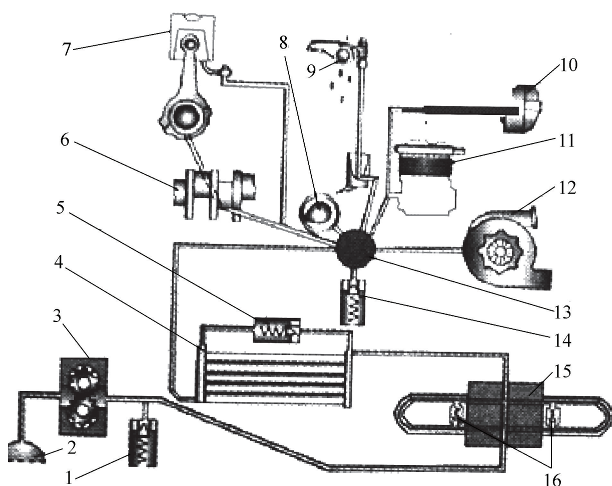


图 3-33　WP10NG336E40 LNG 发动机润滑系统

1—机油限压阀　2—集滤器　3—机油泵　4—机油散热器　5—机油散热器限压阀
6—曲轴　7—活塞（连杆小头）　8—凸轮轴　9—摇臂轴　10—机油报警传感器
11—空气压缩机　12—增压器　13—主油道　14—限压阀
15—机油滤清器　16—滤清器旁通阀

二、润滑系统的作用

（1）润滑作用　在相互运动零部件表面形成一层薄油膜，以减小运动零部件相互的摩擦，提高两相互运动零部件的机械效率。

（2）清洗作用　冲洗残留在运动零部件表面上的污物和加工零部件表面上的金属磨粒，以保持零部件工作表面清洁，避免金属磨粒划伤运动副零部件表面。

（3）冷却作用　带走两相互运动零部件表面因摩擦而产生的热量以及燃烧过程中传递给零部件表面的热量。

（4）密封作用　两零部件之间形成的油膜，可填充它们之间的间隙，起到密封作用。如发动机活塞与气缸套间的油膜，在起到润滑作用的同时，还能密封燃烧室空间。

（5）降低振动、噪声作用　两运动零部件之间形成的油膜，可缓冲它们的相互冲击，

避免零部件金属表面直接接触，减轻了振动与噪声。

（6）防腐作用　形成的油膜覆盖在零部件金属表面，避免金属与空气产生的氧化反应，从而避免在金属表面生成金属氧化物（也就是锈），达到防止金属锈蚀的目的。

三、润滑系统的构成

图 3-33 所示是典型的 LNG 载货汽车发动机润滑系统，它由机油泵、机油集滤器、机油散热器、机油泵限压阀、机油散热器限压阀、曲轴轴承、连杆轴承、连杆小头衬套、摇臂轴衬套、凸轮轴衬套、空压机、增压器、机油滤清器、机油滤清器旁通阀、主油道和主油道限压阀等零部件组成。

机油泵为齿轮泵，它的工作压力在发动机怠速运转（≤750r/min）时为 100～150kPa，发动机高速（750～2200r/min）运转时为 250～600kPa。

发动机润滑系统还设置了机油压力传感器和油压过低信号器，当发动机机油压力低于机油泵的工作压力范围时，机油压力报警器就会报警，以避免因机油压力过低、润滑不良而出现运动副零部件烧蚀现象。

四、润滑系统机油的流向

WP10NG336E40 LNG 发动机润滑油走向如图 3-34 所示。

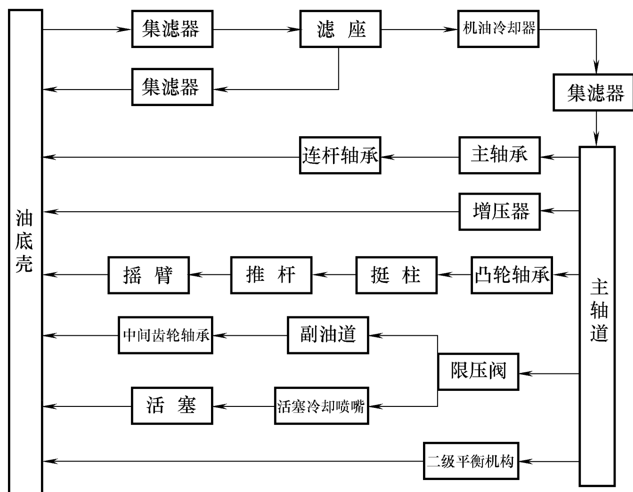


图 3-34　WP10NG336E40 LNG 发动机润滑油走向

WP10NG336E40 LNG 发动机润滑系统在机油泵上设置了限压阀，当机油泵压力超过安全阀压力 150kPa 时，限压阀打开，卸掉部分机油压力，以保护机油泵。

为了防止机油散热器堵塞或冷起动时机油温度低、粘度大，机油散热器阻力大等情况，致使发动机因缺机油而导致损坏，WP10NG336E40 LNG 发动机油路中设置了机油散热器安全阀，该阀的开启压力为（600±50）kPa，一旦出现油道堵塞，此安全阀就打开，机油不经过机油散热器而直接进入发动机油道润滑。

WP10NG336E40 LNG 发动机还在主油道上设置了限压阀，通过调整垫片来保证其开启压力为（600±50）kPa，以防止主油道机油压力超过该限定值，避免因机油压力过高而损坏发动机运动零部件。

五、曲轴箱通风

1. 曲轴箱通风的作用

在发动机工作时，总有一部分可燃混合气和废气经活塞环窜到曲轴箱内，窜到曲轴箱内的高温废气将使机油变质，润滑性能变差。由于高温废气内含有水蒸气和二氧化硫，水蒸气凝结在机油中形成泡沫，破坏机油供给，这种现象在冬季尤为严重。二氧化硫遇水生成亚硫

酸，亚硫酸遇到空气中的氧生成硫酸，这些酸性物质的出现不仅使机油变质，而且也会使零件受到腐蚀。另外，由于可燃混合气和废气窜到曲轴箱内，曲轴箱内的压力将增大，机油会从曲轴油封、曲轴箱衬垫等处渗出而流失，流失到大气中的高温润滑油混合油气也会加大发动机对大气的污染。

发动机装有曲轴箱通风装置可以避免或减轻机油变质。发动机曲轴箱通风装置的主要作用是：

1）防止机油变质。

2）防止曲轴油封、曲轴箱衬垫渗漏。

3）防止各种油蒸气污染大气。

2. 曲轴箱通风的类别

（1）曲轴箱自然通风　曲轴箱自然通风结构如图 3-35 所示。将曲轴箱抽出的气体直接引入大气中的通风方式称为自然通风，载货汽车发动机曲轴箱多采用自然通风，LNG 发动机曲轴箱也采用自然通风方式。

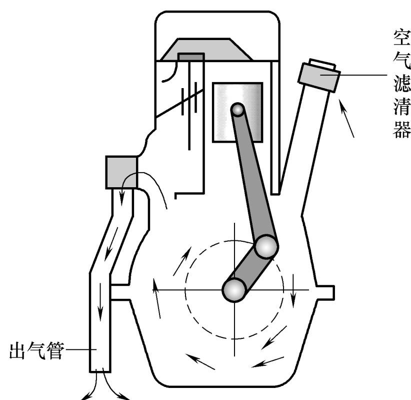


图 3-35　曲轴箱自然通风

在曲轴箱或者加机油盖口连接一根下垂的出气管，管口处切成斜口，斜切口的方向与汽车行驶方向相反，利用汽车行驶中产生的气流和冷却风扇的吸风气流，在曲轴箱出口处形成一定的真空，将曲轴箱里的高温废气抽出来。

为了避免较高的真空吸力在吸出曲轴箱高温废气的同时，也吸出机油，曲轴箱真空管口的压力不能过高，否则，会将曲轴箱的机油雾气、机油细微粒抽出曲轴箱，造成机油耗过高的现象。为此，在曲轴箱出气管口上还设置了挡油板、挡油罩，以避免过多的机油雾气被抽出曲轴箱。

（2）曲轴箱强制通风　曲轴箱强制通风结构如图 3-36 所示。这种方式利用发动机进气吸力，将曲轴箱里的高温废气吸出曲轴箱，再输入发动机气缸燃烧，称为曲轴箱强制通风。汽油发动机大都采用曲轴箱强制通风，由于将曲轴箱里的高温废气吸入发动机燃烧，因此可以提高发动机的经济性能，但同时又会因燃烧曲轴箱里的机油雾气，而造成气门、气门座圈结胶，活塞环与活塞环槽卡死等现象。

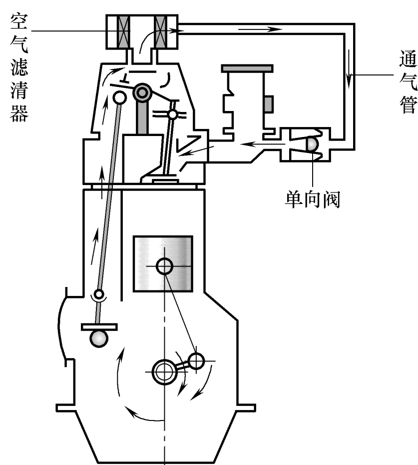


图 3-36　曲轴箱强制通风

第六节　进排气系统

进排气系统的功能是在发动机工作循环时，不断地将可燃混合气送入燃烧室，又将燃烧中产生的废气排到大气中，以保证发动机连续运转。

一、进气系统

进气系统分为发动机进气部件和整车进气部件两大部分。

1. 发动机进气部件

LNG 发动机进、排气体流动过程示意如图 3-37 所示。

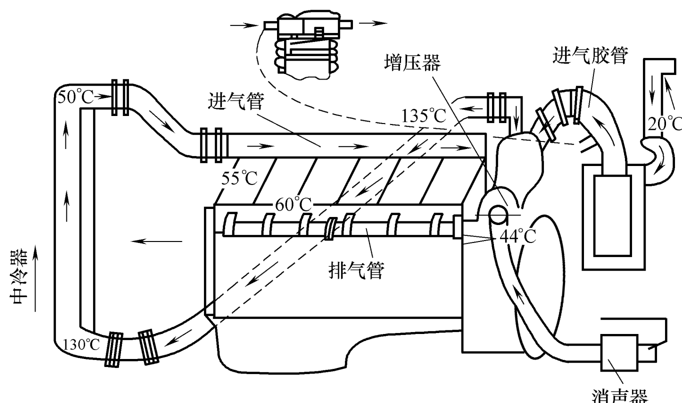


图 3-37　WP10NG336E40LNG 发动机进、排气体流动过程示意

进气部件是汽车发动机的关键部件之一。发动机性能对进气量流动特性十分敏感，同时也会影响到汽车的经济性、动力性和有害物排放的水平。近年来对发动机性能更高的要求也表现为如何提高发动机的进气量，促使发动机的燃烧更加充分完全。而进气管部件的设计是减小进气阻力、增大进气流量的重要手段之一。重型载货汽车发动机进气部件结构分解如图 3-38 所示 。

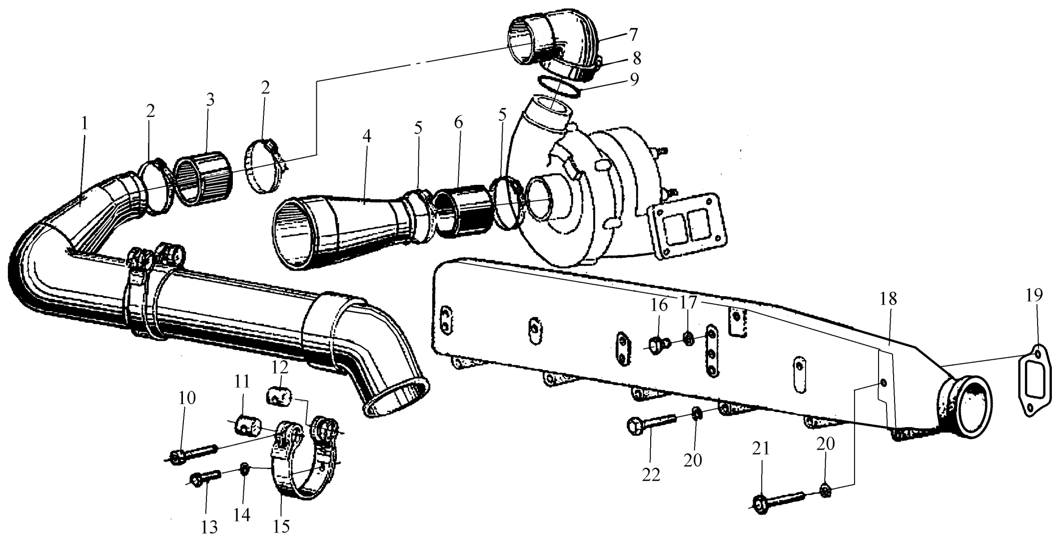


图 3-38　发动机进气部件结构分解

1—管子总成　2、5—软管卡箍　3—硅橡胶软管Ⅰ　4—压气机进气管　6—硅橡胶软管Ⅱ　7—连接弯管　8、15—卡箍　9—密封圈　10—内六角螺钉　11—拉紧销　12—张紧销　13、22—六角头螺栓　14—调整垫圈　16—六角头螺塞　17—密封垫圈　18—进气管总成　19—进气管垫片　20—波形弹性垫圈　21—进气管紧固螺栓

发动机每升气缸工作容积所发出的有效功率，称为升功率，增大升功率是提高发动机功率有效的方法。而加大进气量也是提高发动机功率的一种有效方法。载货汽车发动机常采用强制吸气的方式，用增大气体密度的方法来提高进气量，如采用涡轮增压来提高进气量、提高进气的速度、减小进气阻力，以提高气体的流动速度来提高单位时间内的进气量，以此保证发动机燃烧做功的需要。

2. 整车进气部件

整车进气部件按其功能分为进气部件和中冷器部件两大部分。

把空气或空气与 LNG 的混合气体导入发动机气缸的零部件集合体，称为发动机进气系统。发动机进气系统的合理性直接影响到发动机的性能、寿命，进而影响 LNG 载货汽车的动力性能、经济性能及环保性能。

进气系统的功能是为发动机提供清洁、干燥、充足的空气，进气系统设计的优劣、安装是否可靠，将直接影响 LNG 载货汽车性能的发挥，工作的稳定性、可靠性，甚至会影响到其使用寿命。

（1）进气部件　进气部件由空气滤清器、空滤器支架、进气钢管、进气波纹管、进气橡胶管、进气硅胶管、卡箍及连接螺栓、螺母和垫圈等零部件组成。图 3-39 所示是 JNP4250NLNG 载货汽车进气部件结构示意。

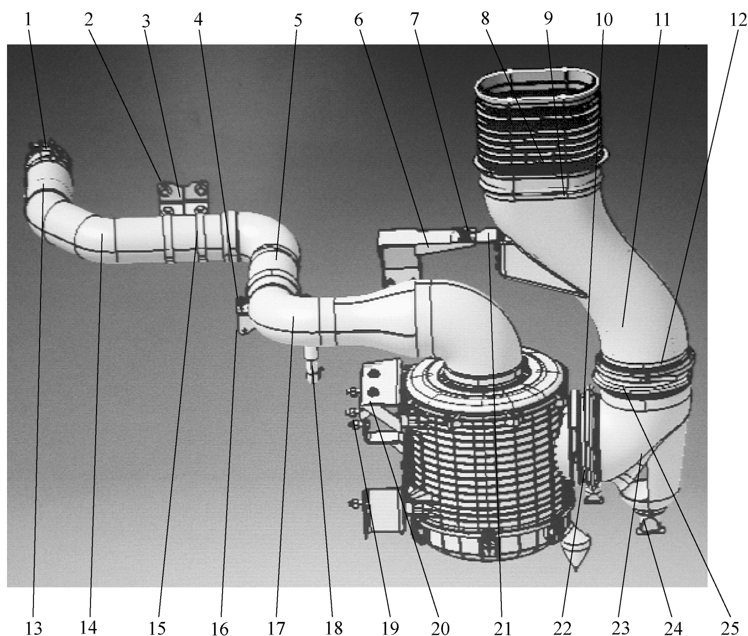


图 3-39　JNP4250NLNG 载货汽车进气部件结构示意

1—T 形抱箍　2、4、7、19—六角头螺栓、平垫圈、弹性垫圈　3—进气管支架Ⅰ　5—硅橡胶软管Ⅰ　6—进气管支架Ⅱ　8—进气波纹管　9—卡箍Ⅰ　10—连接软管　11—进气管　12—卡箍Ⅱ　13—硅橡胶软管Ⅱ　14—进气钢管　15—进气钢管卡箍　16—进气管支架Ⅲ　17—进气橡胶管　18—进气流量接头　20—空气滤清器支架　21—进气管支架Ⅳ　22—卡箍Ⅲ　23—进气管座　24—排尘口　25—进气连接软管

1）进气部件的作用。

① 构成发动机进气通道：将进入进气总管的空气通过进气歧管分别引入发动机各个气缸。

② 过滤作用：通过空气滤清器一级滤芯、二级滤芯过滤掉吸入空气中的灰尘，防止发动机磨损。

③ 起消声降噪、增压作用：连同进气管路一起，利用谐振原理起到增压效果，以提高充气系数。

④ 排水作用：在进气的同时，通过进气通道上的旋流叶片将进气中进入的水分引入排水口，将空气中的水从排水口排出。

⑤ 计量空气流量作用：将经由进气道流过的空气进行准确计量，通过传感器将发动机进气量多少的信息转换成为电信号输送给 ECU，ECU 根据发动机进气量适时调整 LNG，与汽化后的天然气形成适当比例的混合燃气，以保证最佳空燃比。

2）空气滤清器的结构。根据不同工作环境使用情况，重型载货汽车常用空气滤清器分为普通双级空气滤清器和沙漠空气滤清器两种。

普通双级空气滤清器是通过双级干式滤芯（如纸滤芯）将空气中的杂质分离出来的滤清器，并通过排尘口将杂质排出，如图 3-40 所示。

重型汽车由于工作环境恶劣，它的空气滤清器必须是双级的。第一级为旋流式预滤器（如叶片环、旋流管等），用于滤除粗大颗粒杂质，过滤效率在 80% 以上；第二级是微孔纸滤芯（一般称作主滤芯），其过滤效率达 99. 5% 以上。主滤芯之后还有一个安全滤芯，其作用是在安装和更换主滤芯时，或在主滤芯偶然损坏时防止灰尘进入发动机。

沙漠空气滤清器如图 3-41 所示，它是由多旋流管式预过滤器和纸质滤芯组成的双级干式空滤器，适用于灰尘较大的恶劣工作环境，如重型汽车及矿山工程机械。气体从进气口进入旋流管进行预过滤，大部分灰尘受离心作用被滤出，并通过锥形管道导入储灰盘。预过滤

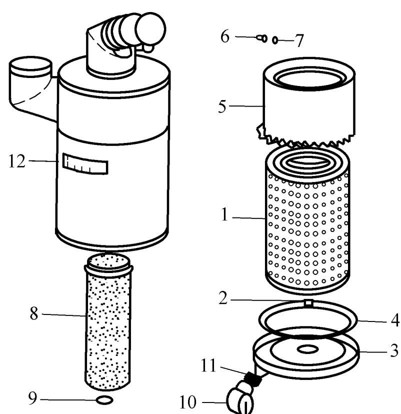


图 3-40　普通双级空气滤清器结构分解

1—粗滤芯　2、9—紧固螺母　3—底座　4—密封垫
5—螺旋旋流片　6—锁紧保护帽　7—密封毛毡垫
8—安全滤芯　10—排尘阀　11—卡扣　12—铭牌

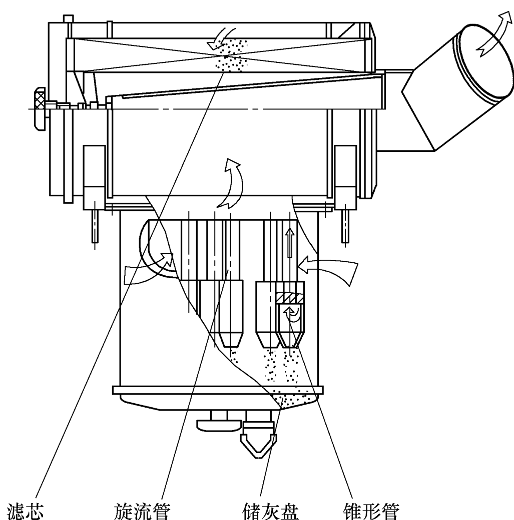


图 3-41　沙漠双级空气滤清器

后的气体再经过旋流管内管进入主滤芯，得到进一步过滤。

装沙漠空气滤清器的载货汽车适于在雨雪天气运行。普通纸质空气滤清器在雨雪天气运行时，若进气道进入的雨水不能被排出，将直接被吸入纸质滤清器，造成纸质潮湿，浮在纸质上的尘土会将滤纸的进气孔堵死，造成纸质滤芯的寿命缩短。甚至造成纸质滤芯击穿报废。而沙漠空气滤清器由于旋流管筒体位于主滤器筒体的下方，由进气道吸入的雨水在旋流管的旋流作用下排出到储灰盘，粗滤后的空气再进入纸滤器从而保护了纸滤芯，延长了沙漠空气滤清器的使用寿命。

装沙漠空气滤清器的载货汽车也同样适于在路况较差，风沙、尘土较大的恶劣地区使用。因旋流管的预过滤效率高达 90% 以上，能有效减少进入滤纸一侧的灰尘量，减轻滤芯负担，所以在同样工况下，沙漠空气滤清器的保养周期和使用寿命较普通产品可延长 2 ~3 倍。

沙漠空气滤清器的缺点是进气阻力大，滤清效率不及普通纸质空气滤清器，且外形尺寸大，给整车布置带来了一定的局限。

（2）中冷器部件　中冷器部件由中冷器、中冷器进气钢管、中冷器出气硅胶管、硅胶软管接头、T 形抱箍及连接螺栓、螺母、垫圈等零部件组成，如图 3-42 所示。中冷器用于降低发动机的进气温度，以提高进气密度。中冷器一般由铝合金材料制成。按照冷却介质的不同，常见的中冷器可以分为风冷式（也称为空对空冷却）和水冷式两种。图 3-42 所示中冷器部件是重型载货汽车采用的风冷式中冷器（也称为空对空冷却）部件结构的分解。

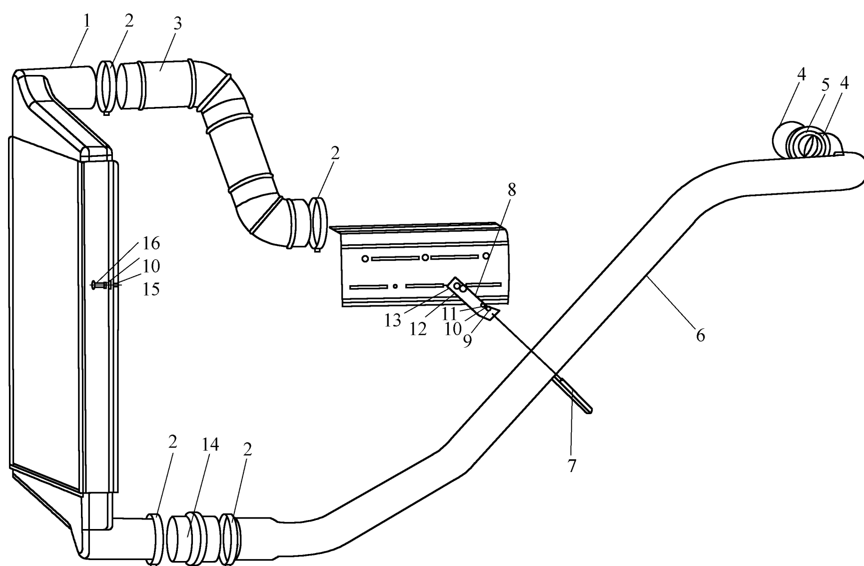


图 3-42　中冷器部件结构的分解

1—中冷器　2—T 形抱箍　3—中冷器出气硅胶管　4—A 型蜗杆传动式软管卡箍　5、14—硅胶软管接头
6—中冷器进气钢管　7—中冷器进气管支架　8—U 形螺栓　9—平垫圈　10、13—弹簧垫圈
11—六角头螺母　12、16—六角头螺栓　15—大垫圈

LNG 载货汽车普遍采用风冷式中冷器，利用外界空气（汽车行驶中空气对流）对通过中冷器的空气进行冷却。优点是整个冷却系统的组成部件少，结构比水冷式中冷器相对简单。缺点是冷却效率比水冷式中冷器低，一般需要较长的连接管路，空气通过阻力较大。

1）中冷器进气管。中冷器进气管可将在涡轮增压器中压缩的高温空气送入中冷器冷却，随着对增压器系统耐热性能要求的提高，中冷器进气管常采用组合形式（图 3-43），所用材料为不锈钢管和硅胶管，不锈钢管为主要气流通道，硅胶管用于中冷器与中冷器进气管之间的过渡连接。不锈钢管与硅胶管的这种组合形式，可以避免因中冷器进气硅胶管过长，在发动机工作时因不能承受其工作压力，而使中冷器进气硅胶管产生破裂。另外，由于涡轮增压器中含有润滑油，所以对中冷器硅胶进气管耐油性也有一定的要求。

若硅胶管太长，中间又未用钢管组合连接，则硅胶管极易产生裂纹。图 3-44 所示是由于进气硅胶管较长，不能承受发动机的工作压力而出现破裂。

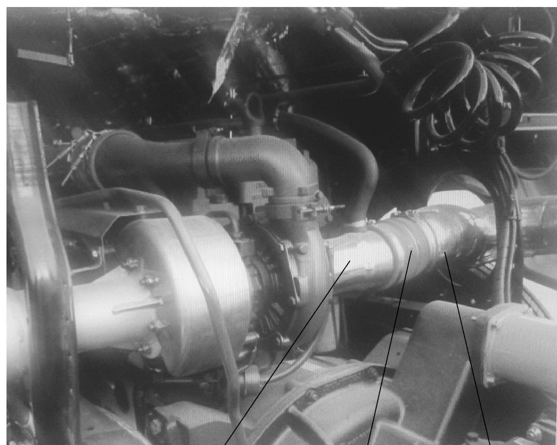


图 3-43　中冷器组合进气管

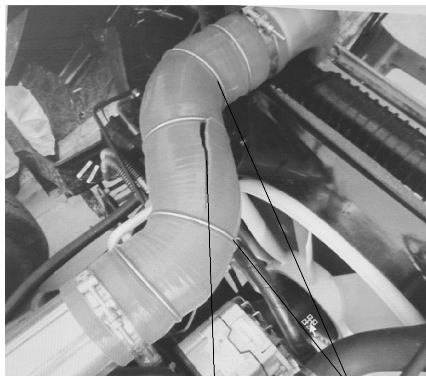


图 3-44　进气硅胶管破裂

2）中冷器出气管。中冷器出气管可将中冷器冷却后的空气送入发动机混合器。与中冷器组合进气管相同，中冷器出气管采用组合形式，材料为不锈钢管和硅胶管，硅胶管用于中冷器与中冷器出气管之间的过渡连接。硅胶管不能过长，能满足两钢管连接即可，以避免因中冷器出气硅胶管过长，在发动机工作时不能承受发动机的进气压力，而致使中冷器出气硅胶管产生破裂。另外，由于涡轮增压器中含有润滑油，所以对中冷器硅胶出气管的耐油性也会有一定的要求。

3. 进气冷却

为了保证进入发动机气缸的进气量，必须要提高进气压力，同时，还要对进气进行冷却。增压、中冷是目前载货汽车普遍采用的提高进气压力、降低进气温度的方式。

新鲜空气经空气滤清器过滤后，进入涡轮增压器压气机进气口，经增压后，从压气机出气口进入中冷器进气管道，此时，空气密度增加，温度升高。涡轮增压器压气机出口的温度为 155～180℃，经过较长的进气管道，增压后的新鲜空气流至中冷器进气口端时，温度略有降低，此时温度下降 5～10℃。

增压后的新鲜空气进入中冷器冷却后，空气从中冷器出气口出来，温度降低至 50～60℃，进入发动机混合器与 LNG 汽化成气态的天然气混合，经电子节气门进入发动机燃烧室点火燃烧。

表 3-1、表 3-2 是 JNP4250N LNG 载货汽车配装 YC6MK340N-40 发动机经中冷器冷却

前、冷却后的进气温度试验数据。

从表中可看出：

1）当发动机在最大转矩点运转时，中冷器冷却温度降低 114.4℃。

2）当发动机在最大功率点运转时，中冷器冷却温度降低 124.4℃。表中试验数据是测量 10 个测量点，最后取其平均值。

表 3-1　中冷前、中冷后温度数据（最大转矩转速）

发动机转速(由仪表读取)/(r/min)	环境温度/℃	机舱温度/℃	中冷前温度/℃	中冷后温度/℃	进冷却液温度/℃	出冷却液温度/℃
1400～1500	38.7	72.8	173.6	60	91.3	96.1
	38.7	72.7	175.5	60.1	91.2	96.1
	38.7	72.7	175.2	60.2	91.3	96.2
	38.8	72.8	174.3	60.2	91.4	96.4
	39.0	72.8	173.2	60	91.5	96.4
	39.1	72.7	174	59.9	91.5	96.4
	39.0	72.7	175	60	91.5	96.3
	38.6	72.8	174.3	60	91.5	96.6
	38.4	72.9	173.9	59.9	91.6	96.4
	38.4	72.9	174.8	59.9	91.4	96.3
平均值	38.7	72.8	174.4	60.0	91.4	96.3

注：从表 3-1 可看出，中冷后温度差值为 174.4℃ －60.0℃ ＝114.4℃。

表 3-2　中冷前、中冷后温度数据（最大功率转速）

发动机转速(由仪表读取)/(r/min)	环境温度/℃	机舱温度/℃	中冷前温度/℃	中冷后温度/℃	进冷却液温度/℃	出冷却液温度/℃
2000～2100	37.4	64.9	183.7	58.9	81.6	85.4
	37.5	65.2	185	59.4	81.9	85.8
	37.4	65.3	187.3	59.8	82.2	86.1
	37.5	65.5	190.2	60.6	82.5	86.4
	37.7	65.7	188	60.4	82.6	86.6
	38.2	65.8	188.1	59.9	82.8	86.8
	38.1	66	187.9	60.2	83.2	87.1
	38.1	66.1	178.2	58.5	83	87
	38.7	66	171.2	56.3	82.6	86.6
	39	66	174.5	56	82.3	86.4
平均值	37.9	65.7	183.4	59	82.5	86.4

注：从表 3-2 可看出，中冷后温度差值为 183.4℃ －59.0℃ ＝124.4℃。

4. 进气系统设计注意事项

设计中冷器进出气管时，应当做到弯道要少，且弯道的半径尽可能大，良好的发动机进气通道设计是减小进气阻力，提高进气量的重要保证。与此同时，在设计整车进气系统时，还应通过采用大流量的空气滤清器，大口径或多支进气管的形式，以达到提高进气流速、增大进气流量的目的，这是提高汽车动力性能的重要措施。通过使用不锈钢进气管、打磨进气歧管内壁焊缝等措施，可以增高管壁的光滑程度，以提高气体的流动速度，降低进气阻力。

二、排气系统

排气系统分为发动机排气部件和整车排气部件两大部分。

1. 发动机排气部件

把发动机气缸内燃烧废气排出的零部件集合体，称为发动机排气部件，如图 3-45 所示。发动机排气系统设计质量的优劣，直接关系到发动机排气背压大小、排气温度高低，直至影响到汽车的动力性、舒适性和安全性能。

发动机在排气行程时，排气门打开，废气经过气缸盖排气道时的温度高达 650～700℃。发动机燃烧后的高温废气通过排气管进入涡轮增压器，高温废气推动涡轮增压器涡轮高速旋转后从涡轮出气口排出，再经过排气制动阀体、排气管、三元催化转化器和消声器消声后排入大气。

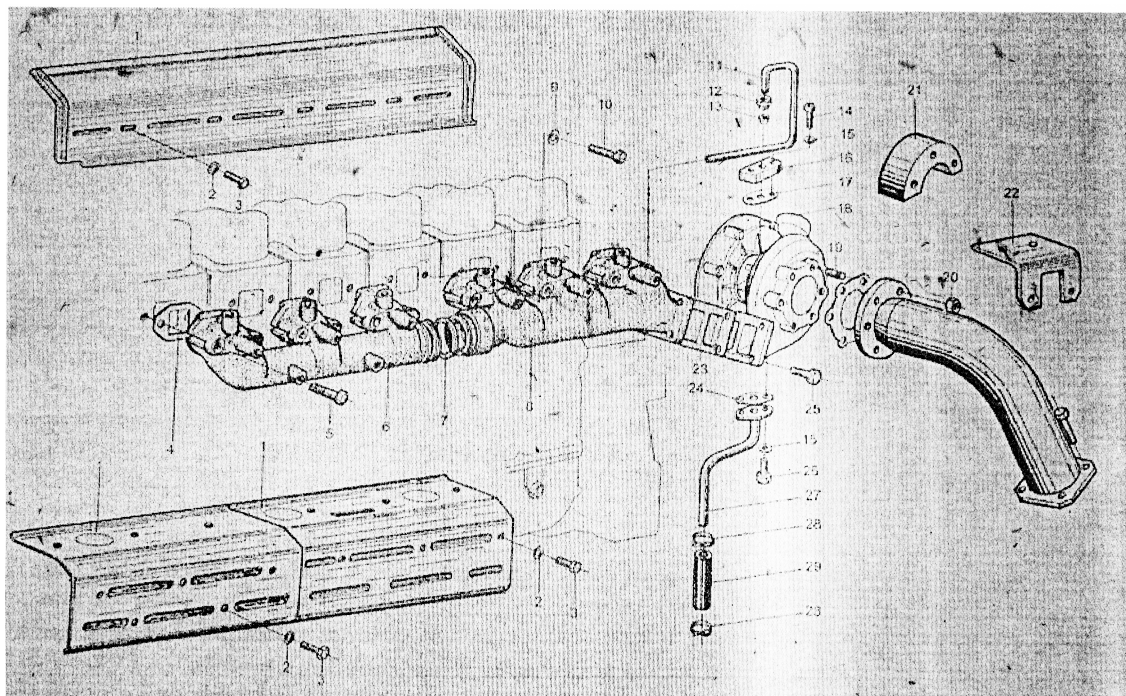


图 3-45　发动机排气部件结构分解

1—前隔热罩、后隔热罩　2—小垫圈　3—螺栓组　4—排气管垫片　5—排气管紧固螺栓　6—前排气歧管　7—排气管密封环　8—后排气歧管　9—止推垫圈　10—排气管紧固螺栓　11—进油管　12—管接头螺母　13—卡套　14—内六角圆柱头螺钉　15—自锁垫圈　16—进油管法兰　17—进油管垫片　18—涡轮增压器　19—双头螺柱　20—Ⅱ型双金属锁紧螺母　21—隔热罩　22—支架　23—增压器垫片　24—回油管法兰垫片　25—六角头螺栓　26—回油管螺栓　27—回油管　28—软管卡箍　29—增压器回油软管

2. 整车排气部件

整车的排气部件是排放和降噪的重要总成零部件，它主要由排气管、三元催化转化器、消声器和排气尾管等零部件组成，如图 3-46 所示。主要功能是把发动机在燃烧过程中产生的高温废气从多个气缸内收集、清洁（经三元催化转化器）、消声，然后引到车后排出。

（1）排气系统的作用

1）将各缸排放废气集中通过排气管排出。

2）排气系统上装有消声装置，可以降低发动机噪声。

3）LNG 载货汽车排气系统上装有三元催化转化器装置，柴油发动机排气系统上装有尿

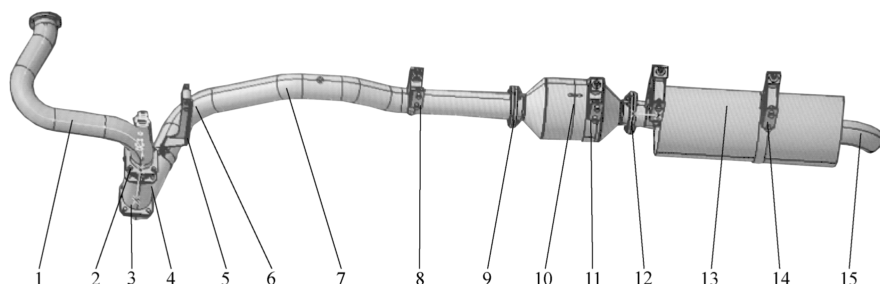


图 3-46　整车排气部件

1—排气管Ⅰ　2—双头螺柱　3—六角螺母　4—波纹软管　5—排气管吊架Ⅰ　6—六角头螺栓、六角螺母
7—排气管Ⅱ　8—排气管吊架Ⅱ　9—连接法兰Ⅰ　10—催化器　11—催化器吊架　12—连接法兰Ⅱ
13—消声器　14—消声器吊架　15—排气尾管

素喷射泵、尿素箱、三元催化转化器等。

（2）排气管　LNG 载货汽车排气管看似只是简单的管道，其实设计时不仅要考虑到特定的底盘布置，而且排气系统的长度、管径大小、消声器容积（流量）的大小，都与排气气体的流动背压（压力）相关，且须防止相邻气缸排气时气流的互相干涉。在电喷发动机上，氧传感器就装在排气总管上，它感应排气中氧分子含量并反馈至电控单元（ECU），从而决定进入发动机内的混合气比例。

设计排气管时，要求排气管的走向合理、排气管尽量短、排气管的折弯半径尽可能大（排气管中心线弯曲半径不得小于 1.5D，D 为排气管直径）。排气管支架、吊架应保证足够的刚度，在排气管支架或者吊架上应设置有减振橡胶软垫，以消除、缓解汽车行驶中传给排气管的振动，避免在汽车行驶中产生共振。

汽车的排气歧管一般由电焊钢管制成，由于国Ⅳ汽车排气管需要焊装尿素喷嘴，要求排气管耐腐蚀，装置尿素喷嘴的排气管必须采用不锈钢管制成。

（3）消声器　三元催化转化器端部与消声器相连。消声器按截面分为矩形消声器、梯形消声器、圆桶形消声器，图 3-47 为圆形消声器，图 3-48 为矩形消声器。消声器采用优质薄钢板经冲压焊接而成，装在汽车排气系统的中部或者后部位置上。它内部有一系列隔板、腔室、孔洞和管道，利用声波反射互相干扰抵消的原理，使排气中的声能逐渐衰弱，用以隔离和衰减排气门每次打开时产生的脉动压力。

排气门开启时高速冲出的废气所产生的脉动压力是产生噪声的根源，又称为气流噪声，噪声高达 120DB 以上。载货汽车常用的消声器是利用声波叠加干涉原理制作而成的部件，它对发动机喷出来的气体进行分流，废气流通过消声器内部时压力、冲击力减小，以减轻它对空气的振动。

消声器虽然能降低噪声，但会损耗发动机部分功率，因为即使设计完善的消声器也会在系统中产生一些背压，从而会降低发动机容积功率，而且由于排气阻力增加、排气不畅，会增高发动机的排气温度。

（4）三元催化转化器　排气总管连接三元催化转化器（简称催化器），催化器如图 3-49

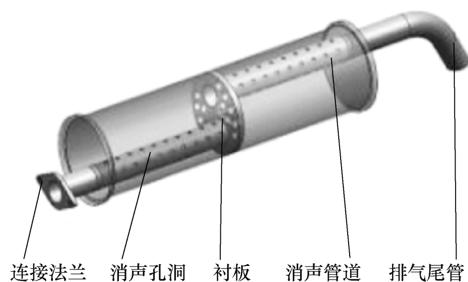


图 3-47　圆形消声器

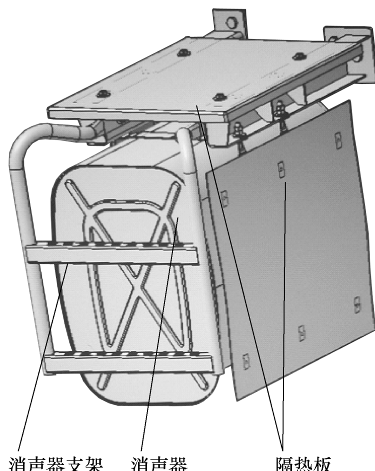


图 3-48　矩形消声器

所示。三元催化转化器的关键在于“催化”，也就是利用催化剂对汽车的废气进行净化，将发动机燃烧废气中的有害物质转化为无害物质。

催化器有安装方向要求。在催化器外表面上标注有安装箭头标记，安装时从排气管（汽车排气管）端顺序向后按箭头方向安装，如图 3-46 所示。

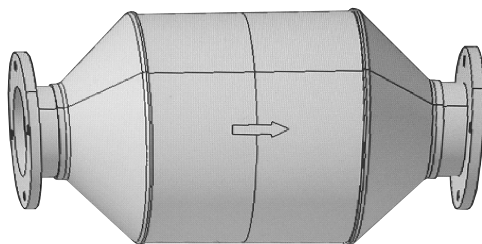


图 3-49　催化器外形

1）催化器工作原理。排放的尾气通过蜂窝陶瓷催化剂，催化剂的活性组分主要是稀土金属氧化物、贵金属和过渡金属，在 200～300℃以上温度条件下，能充分进行催化反应，将尾气中的有害成分 CO、HC、NO_x 等转化成无害的水、二氧化碳和氮气。

柴油发动机设置有尿素喷射泵、尿素箱。LNG 发动机燃烧中的有害物不需要再喷入尿素进行化学还原反应处理。

催化器有氧化型、双床型、三元型等多种形式，其中载货汽车常用的是三元型催化转化器。壳体用耐高温的不锈钢制成，内部的蜂巢式通道上涂有催化剂，催化剂的成分有铂、钯和铑等贵金属。当汽车废气通过催化器的通道时，一氧化碳和碳氢化合物就会在催化剂铂与钯的作用下，与空气中的氧发生反应生成无害的水和二氧化碳，而氮氧化物则在催化剂铑的作用下被还原为无害的氧和氮。

三元催化转化器的净化效率十分高，可以净化 90% 以上的有害物质，是国Ⅲ、国Ⅳ载货汽车上的一种标准装置。

LNG 载货汽车催化器一般由两部分组成，即蜂窝陶瓷催化剂和金属外壳。

2）催化器排气背压。由于 LNG 载货汽车加装了催化器，使得排气背压有所增加，排气阻力增大。表 3-3 是 LNG 载货汽车加装了三元催化转化器与未加装三元催化转化器排气背

压的变化情况对比。从表 3-3 中可看出，加装了催化器后，排气背压比不加装催化器增大了 4.74～5kPa。

表 3-3 加装催化器与未加装三元催化器排气背压变化情况

序号	测量时间/s	环境温度/℃	排气背压/kPa		
			JNP4250N 载货汽车加装三元催化转化器	JNP4250N 载货汽车未加装三元催化转化器	排气背压差/kPa
1	878	33	13.84	8.78	5.06
2	884		13.60	8.64	4.96
3	889		13.60	8.54	5.06
4	882		13.34	8.52	4.80
5	893		13.28	8.52	4.76
6	880		13.27	8.49	4.78
7	886		13.23	8.49	4.74
8	878		13.10	8.43	4.67
设计要求值			15	10	

（5）排气尾管　与消声器连接的最后一段是排气尾管，它是排气系统中最后一段排气管，直接将废气引出车外。排气尾管除了起到增压以及扰流作用外，还可以在一定程度上使排气声音变得略微柔和悦耳，并减少噪声。

为了避免排气管排出的高温废气排向路边的行人或者排向路边的易燃、易爆物，要求排气尾管的安装方向，不得朝向右边方向。通常载货汽车排气尾管的安装方向与汽车行驶方向相反并朝向地面，如图 3-50 所示，图中箭头为汽车前进方向。

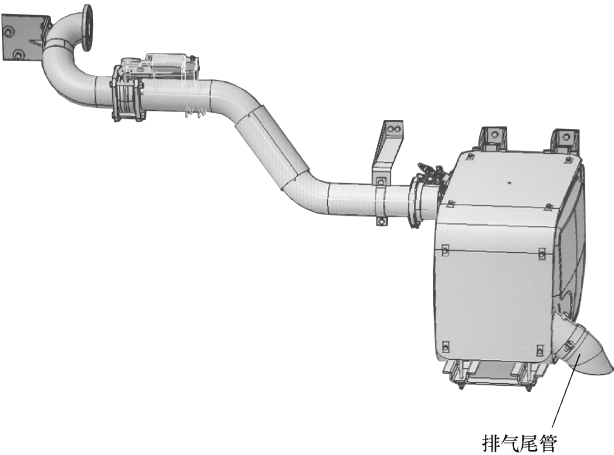


图 3-50　排气尾管朝向

（6）排气制动阀　排气制动阀作为汽车的辅助制动装置，在重载下长坡时效果尤其明显。排气制动阀外形如图 3-51 所示。

排气制动阀的功能主要有：

1）制动的效能：也就是短距离内制动的能力。

2）制动的稳定性：也就是汽车在制动过程中方向控制的能力。汽车在制动过程中会不

会侧滑或者跑偏取决于制动的稳定性。

3）热衰退性：也可以称为制动效能的恒定性。

对于重型载货汽车来说，下长距离坡路时由于重载，汽车的惯性力非常大，因此，长距离坡路中很容易出现制动失灵。出现制动失灵的主要原因就是制动器的热衰退性不能满足制动要求。

为了提高制动的效能，在重型载货汽车上常采用可变气门排气制动（VVEB），也就是依靠发动机本身产生制动力来阻止汽车下滑。VVEB压力高，制动效果明显，不需要其他介质。



图 3-51　排气制动阀

载货汽车排气制动装置由排气制动按钮阀、废气工作缸、排气制动阀和停油气缸组成。排气制动操纵方便，简单有效。在冰雪及较滑的泥水路面行驶时，使用排气制动，可以减少侧滑。在下长坡时，使用排气制动可以减少行车制动的次数，降低制动鼓的温升，提高制动的可靠性。使用排气制动时，可减少发动机油料的供给以至断油，能节省燃料。

VVEB 工作时，排气制动阀关闭，排气管背压升高，VVEB 驱动活塞下移，同时驱动已落座排气门下移，使排气门开启从而产生制动力，直到驾驶人再次踩下加速踏板或离合器踏板。一旦因为加速或者离合器分离，驱动活塞回位，排气门复位，排气制动阀同时打开，发动机正常做功为汽车提供动力。

图 3-52 所示为 VVEB 活塞未打开，发动机排气门未打开，整车排气制动阀开启，此时排气制动通道呈开启状态。

图 3-53 所示为 VVEB 活塞已打开，发动机排气门打开，气缸里的高压缩气体流入排气通道，致使整车排气制动阀关闭，此时排气制动通道呈关闭状态。

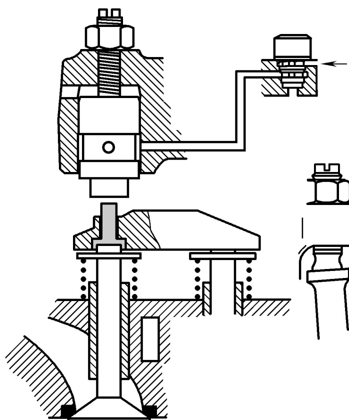


图 3-52　VVEB 未打开

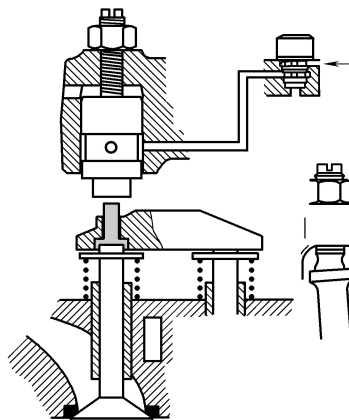


图 3-53　VVEB 打开

金华青年汽车制造有限公司生产的 LNG 重型载货汽车排气制动，就是采用关闭发动机排气通道的办法，使发动机活塞在排气行程时受到气体的反压力，阻止发动机的运转而产生制动作用，从而达到控制车速的目的。驾驶人使用排气制动时，打开驾驶室仪表控制台上的排气制动按钮阀，VVEB 的活塞下行，压缩空气进入废气工作缸。废气工作缸活塞受压缩空气的压力移动，压缩顶杆，顶杆推动发动机排气门下行，气缸内的压缩气体推动排气制动阀关闭，阀转动将排气管堵死。同时使燃气停止供应。由于排气管堵死，发动机停止排气，燃料供应中断，排气管中的压力升至 0. 3 ~0. 4MPa。发动机活塞在工作中的排气行程必须克服此压力，因而大大增加了发动机制动的功率。故当采用排气制动时，发动机活塞在发动机排气行程时，活塞受气体的反压力，经过曲轴和传动系统传至车轮，增加了车轮的转动阻力，降低了车速。

当排气歧管内压力达到一定的值后，会克服气门弹簧的阻力，打开排气门，压缩空气进入气缸，由进气管排出，以保证排气歧管内的压力不会继续升高。此时发动机会发出一种较特殊的声音，此声音对发动机无害。有的驾驶人认为采用排气制动对发动机有害，这种看法是不正确的。

在采用排气制动时，由于停止了燃气的供给，发动机实质上变为一台空压机，消耗能量以控制车速。虽然发动机燃气的供给停止，但发动机润滑、冷却系统却还在正常工作，只是由输出能量变为消耗能量。操作时，应注意排气制动装置各部件的完好，如果有损坏，应及时修理或更换。

在下长距离大坡路或下山行驶中，若汽车配置 12 档变速器，则下坡时变速器应选用合适的档位，一般选用 5 档或者 6 档，这样可以防止发动机转速过高出现发动机损坏。使用排气制动时，不能挂空档，也不允许分离离合器，否则排气制动无效，而且还会出现行车事故。

VVEB 工作时发动机全部四个循环过程中保持排气门打开。在膨胀行程，因排气门开启释放缸内高压气体，缸内压缩空气驱动活塞下行，故在膨胀行程时发动机做负功，将车辆的滚动动量转化为制动功率。

使用 VVEB 的优势：

1）可提高发动机使用寿命：与传统单独使用排气制动或其他形式制动器不同，VVEB 工作时不会出现因排气背压升高，而导致排气门反跳损坏发动机的现象。

2）能大幅降低整车制动系统磨损，减少因制动造成轮胎损坏的现象。

3）可大幅减少制动使用次数，减少主摩擦制动系统的磨损，提高其使用寿命，延长维修更换制动片的时间周期 3 倍左右，从而降低汽车运行成本。

4）可提高汽车下坡行驶速度而提高运输效率。

5）将传统制动减速过程中的车胎与地面的滑动摩擦变为滚动摩擦，减少了车胎的磨损。

6）提高整车制动力 55%，不用频频踩制动踏板减速，不需要用附加水箱给制动毂降温，提高了驾驶舒适性。

7）VVEB 低速制动功率大，可减少下坡换档频次，提高驾驶舒适性。

8）不用担心下长坡时因长时间踩制动踏板而导致制动失灵。

第七节　冷却系统

LNG 载货汽车冷却系统采用封闭强制循环冷却方式，冷却系统由放水阀、水泵、发动机冷却液排气管、节温器、散热器、散热器进出水管、散热器排气管、暖风、暖风进水管、暖风出水管、膨胀水箱、膨胀水箱限压阀、机油冷却器及其卡箍等组成。WP10NG336E40 LNG 发动机冷却液流向如图 3-54 所示。

LNG 发动机冷却系统有三大装置：

冷却装置：包括散热器、水泵、缸体、缸盖和水套。

冷却强度调节装置：包括节温器、硅油风扇或者电磁离合器风扇、温控开关。

冷却液温度显示装置：包括冷却液温度表、冷却液温度传感器、报警显示器。

工作原理：节温器根据发动机的工作温度高低，实时开启或关闭主阀门和副阀门，这两道阀门分别控制着冷却水路的大循环（经过散热器的循环称为大循环）、小循环（不经过散热器的循环称为小循环），从而实现冷却液温度的自动控制与调节。

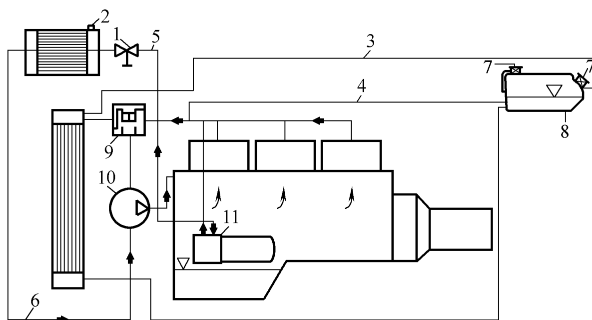


图 3-54　WP10NG336E40 LNG 发动机冷却液流向

1—放水阀　2—暖风　3—散热器排气管　4—发动机冷却液排气管　5—暖风进水管　6—暖风出水管　7—膨胀水箱限压阀　8—膨胀水箱　9—节温器　10—水泵　11—机油冷却器及热交换器

一、冷却系统的作用

冷却系统可将发动机燃烧过程中产生的热量及时传送出去，以保证发动机在最佳的工作环境温度下工作。

汽车发动机冷却系统的功用：就是使发动机在任何工况下都能得到适度的冷却，从而保持在最适宜的温度下工作。要求汽车发动机冷却系统不仅能够保护发动机，而且还应具有改善燃料经济性和降低排放的作用。

冷却不良会造成发动机过热，充气量减少，燃烧不正常，导致发动机功率下降；发动机运动零部件之间的间隙被破坏，摩擦增大，甚至发生零部件相互烧结、损坏现象；机油温度升高，机油变质、粘度下降，润滑不良，导致零部件磨损加剧。

若冷却过度，又会造成发动机热能量损失过多，发动机的热效率大幅降低，燃气消耗量增大。

二、LNG 发动机冷却液的循环

从图 3-54 可看出，冷却液从膨胀水箱加入后，充满发动机气缸体水套、气缸盖水套。发动机工作时，冷却液从散热器经进水软管、水管接头进入水泵然后进入发动机气缸体水套、气缸盖水套冷却气缸体、气缸盖后，再经节温器小循环流回气缸体，或者经大循环流入散热器，又经进水软管、水管接头进入水泵，然后从水泵进入气缸体……周而复始地进行循环。

为防止发动机冷却系统出现气阻，在发动机气缸盖上（发动机冷却液的最高处）接有发动机冷却液排气管，将发动机里的热蒸汽接入膨胀水箱，通过膨胀水箱出气管排入大气。

为消除散热器里出现的高温热蒸汽，在散热器上接有散热器排气管，将散热器里的热蒸汽接入膨胀水箱，再通过膨胀水箱出气管排入大气。

发动机工作中，散热器里的冷却液会因为发动机产生的热量而出现膨胀，这样就会有一部分冷却液外溢流出散热器，进入膨胀水箱。为此散热器与膨胀水箱有一根水管相连，通过这根水管将散热器溢出的冷却液流入膨胀水箱。

三、LNG 发动机冷却液的调节

为了保证发动机在最佳工作温度状况下工作，需要对冷却系统的冷却液进行自动调节，将发动机的冷却液温度控制在一个恒定的温度范围内。而冷却液温度的控制与调节往往依靠节温器来进行，目前重型载货汽车普遍采用蜡式节温器来达到自动控制、调节冷却液温度的目的。

发动机正常工作时水套内的最佳冷却液温度应保持在 80～90℃范围内，WP10NG336E40 LNG 发动机冷却液工作温度不得超过 95℃。

目前，汽车发动机多采用强制循环水冷系统。发动机气缸盖和气缸体中都设有水套，发动机水泵将冷却液进行加压，使冷却液在冷却系统内循环流动，带走相关零部件的热量，冷却液吸热后自身温度会升高，进入汽车前端的散热器内。由于汽车前进和风扇的抽吸风流量，外界冷空气通过散热器，带走散热器内冷却液的热量并散入大气。

当散热器中的冷却液得到冷却后，在水泵的作用下，冷却液再次进入发动机水套内。如此周而复始地进行循环，冷却发动机的高温零部件。为了保证发动机在不同负荷、转速以及在不同季节下在最适宜的温度范围内工作，LNG 载货汽车还设置了节温器和电磁离合器风扇。而刚性风扇（未设置风扇离合器）则是风扇转速随着发动机转速的速比变化而呈线性变化，不能随着冷却液温度变化而变化。

试验表明：汽车冷却系统散走的热量只能占到整个冷却系统的 30%，而 70% 的散热量则要依靠汽车行驶中迎风流量散热。

为了保证载货汽车正常工作，汽车冷却液必须采用防冻液，常采用的防冻液为乙二醇型防冻液。加注防冻液时，不允许不同厂家、不同牌号的防冻液混合使用。不同品牌的防冻液其生产配方会有所差异，如果混合使用，多种添加剂之间很可能会发生化学反应，造成添加剂失效，破坏各自的综合防腐能力，引起沉淀、结垢和腐蚀等危害，从而影响发动机的散热

性能和使用寿命。

LNG 载货汽车长期使用防冻液能对汽车发动机起到：

（1）防冻作用　避免发动机气缸体、气缸盖等零部件冻裂。

（2）防沸作用　提高载货汽车行驶中冷却液的沸点温度。

（3）防水垢作用　减少载货汽车发动机由于长期在高温下工作产生的水垢，若添加防垢剂，还能起到除垢作用。

LNG 载货汽车由于燃烧温度较高，即使在夏季也应当使用防冻液，以降低冷却液的沸点温度，减少或者消除水垢的生成。

四、电磁离合器风扇

汽车运行的时刻不同，其需要的冷却液温度也是不相同的。为了使冷却液温度适宜不同时刻发动机工作温度的需要，并不需要风扇转速与发动机转速同步运转。当发动机冷却液温度低于大循环开启温度时，这时就需要尽快将发动机的冷却液温度提高至 80～90℃，发动机的风扇只需要低速运转。当发动机冷却液温度高于 95℃时，又需要尽快降低冷却液温度，此时发动机的风扇就需要高速运转。电磁风扇离合器可以根据发动机的不同需求，适时调整风扇在不同情况下的转速。

尤其是冬季，电磁离合器风扇可以根据发动机的冷却液温度自动开启和停止，减少风扇的无用功率消耗，达到节油、降噪的作用。它与刚性风扇相比的另一个直接好处是，冬季时，由于电磁离合器风扇转速得到有效的调节，发动机冷却液温度能得到很好的控制，对汽车暖风非常有效，驾驶室温度提升迅速。另外，还可以减少发动机冷车造成的磨损，延长发动机寿命。

1. 工作原理

根据发动机冷却液温度适时控制发动机风扇的转速，一般分为三种控制方式，称为三速电磁离合器风扇。

（1）发动机怠速　冷却液温度低于设定值时（可根据发动机的需要调整），离合器不通电，依靠轴承摩擦来驱动风扇运转，转速为 100～200r/min。

（2）发动机中速（发动机转速为最大转矩转速）　冷却液温度达到 2 速设定值时（可根据发动机的需要调整），离合器小线圈通电，此时风扇转速为输入转速的 50%～60%。

（3）发动机高速（发动机转速为额定功率转速）　冷却液温度达到 3 速设定值时（可根据发动机的需要调整），离合器大、小线圈通电，此时风扇转速为刚性连接，转速等于输入转速的 100%。

电磁离合器风扇可根据发动机的冷却液温度，自动控制电磁离合器电路的通断，以满足发动机不同工况的需要。

电磁离合器风扇由电磁摩擦离合器和自动温控开关组成，自动温控开关通过感温器接收冷却液的温度信号，在规定的温度范围内将电路接通或断开，使离合器接合或分离，从而使风扇运转或者不运转。目前的温控开关多用以热敏电阻为感温元件的晶体管温控开关。它通过热敏电阻为感温器，将温度信号转变成电压信号输入电子开关电路，再按要求输出“导通”与“关断”信号给电磁离合器，使离合器起作用。

当冷却液温度低于 92℃时，温控开关的电路不通，线圈中没有电流流过，电磁壳体对

衔铁环不产生吸力。衔铁环在弹簧的张力作用下贴在风扇壳上，与摩擦片分离，此时离合器处于分离状态，风扇不转动。当冷却液温度超过 92℃时，温控开关电路自动接通，线圈通电后电磁壳体产生吸力将衔铁环压紧在摩擦片上，此时离合器处于接合状态，风扇随风扇壳一起被电磁壳体带动旋转。在无电供应和线圈失控的情况下，应急措施是在风扇壳上备有两个 M6 的螺孔，在两螺纹孔中旋入两个 M6-25 或者 M6-30 的螺钉，衔铁环就会压紧摩擦片，使其机械接合。

2. 电磁离合器风扇的优点

1）有效降低发动机风扇消耗的无用功率，降低燃气消耗。

2）汽车起动时发动机冷却液温度升高快，减少发动机冷车时的磨损，降低废气排放物。

3）有效降低汽车运行的噪声，提高了驾驶操作舒适性。

4）冷却液温度反应灵敏，控制准确。

5）运转稳定、可靠性高，使用寿命长。

LNG 发动机采用的电磁离合器风扇如图 3-55 所示。

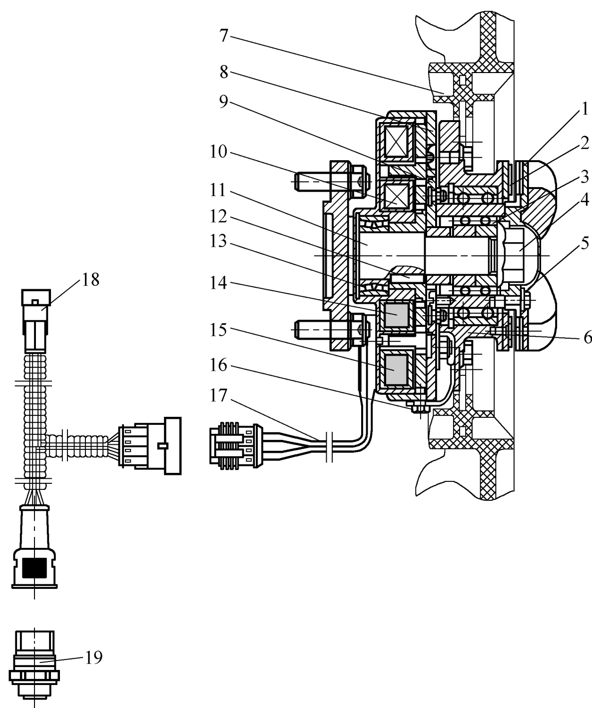


图 3-55　电磁离合器风扇

1—拖动盘　2—磁铁　3—组合轴承　4—法兰面螺母　5—法兰面自锁螺母　6—风扇连接盘组件　7—风扇叶　8—高速耦合片　9—低速耦合片　10—主动盘　11—轴　12—平键　13—双列角接触球轴承　14—高速线圈　15—低速线圈　16—备用六角头螺栓　17—线束　18—线束组件　19—温控开关

电磁离合器风扇由风扇与电磁离合器组合而成。风扇采用 8 叶环形工程塑料风扇（或

者 10 叶环形工程塑料风扇），如图 3-56 所示。这种风扇强度高，变形小，环形有利于气流的旋流形成。

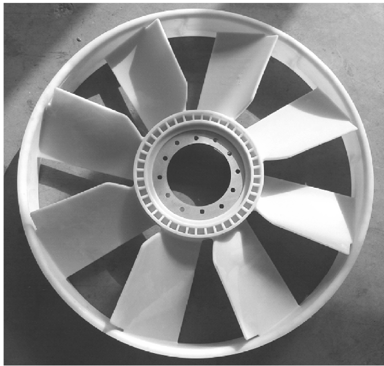


图 3-56　8 叶环形塑料风扇

五、正确使用、保养冷却系统

冷却系统保养主要包括正确更换冷却液、防冻液，清洗散热器，检查、更换冷却水管。

1. 防冻液的作用

防冻液的作用见“三、LNG 发动机冷却液的调节”。

冷却液应按表 3-4 加注规定牌号的防冻液。

表 3-4　防冻液主要性能参数

项目	汽车防冻液			
质量等级	FD-1	FD-2	FD-2A(2B)	FD-3
外观	亮绿色			
pH	10.2	10.2	10.5	10.5
密度/(kg/m^3)	1064.1	1072.2	1080.5	1090
沸点/℃	108	109	110(109)	111
冰点/℃	-26	-36	-46(-40)	-51

注：1. 表中防冻液适宜夏季防沸、冬季防冻选用。
　　2. 选择时，根据不同地区的工作环境温度，选择不同牌号的防冻液。

2. 保养主要内容

1）加注防冻液：按规定牌号和比例、数量加注防冻液。防冻液的加注和使用，应当根据汽车使用的不同工作环境温度而选择。推荐重型载货汽车加注防冻液的牌号见表 3-4。

2）冷却液的更换保养：每年夏天应更换防冻液。更换时须加入柴油机清洁液，起动发动机，待发动机运转、冷却液温度为 60～80℃后，放尽清洁液，再加注新的防冻液。

3）散热器的清洗：视情况每隔 6～12 个月清洗散热器。

清洗散热器时，须加入柴油机清洁液，起动发动机，待发动机运转、冷却液温度至60～80℃后，放尽清洁液及散热器里的杂物，用清洁液冲洗干净散热器后，再加注新的防冻液。

4）检查冷却系统水管、出气胶管有无老化、破损现象，视情况更换。

5）加注防冻液时，应当分两次加注：第一次加满以后，盖上膨胀水箱盖（加液盖），起动发动机，将发动机转速缓慢从怠速至高速运转，运行 3～5min 后，停车熄火再加注防冻液至膨胀水箱刻线范围之内。

3. 检查节温器工作是否正常

检查节温器开启行程有无减小现象，若节温器开启行程减小，则应更换节温器。

将节温器放在沸水锅里煮 3～5min 后（图 3-57），若节温器的阀门最小开启行程在 8～10mm 之内（图 3-58），则属于正常。反之则认为节温器失效。

检查节温器方法：

1）在烧杯中加入水，水以浸没节温器芯为准，如图 3-57 所示。加热电热炉，直至水

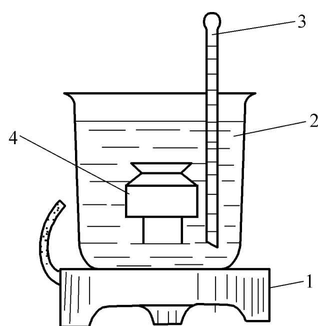


图 3-57　加热节温器

1—电炉　2—烧杯

3—温度计　4—节温器

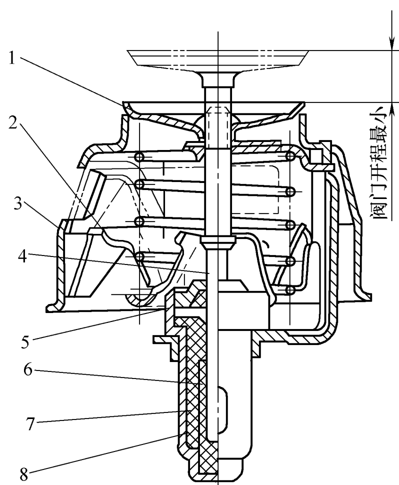


图 3-58　节温器行程检查

1—主阀门　2—旁通阀　3—外壳　4—推杆

5—丁腈橡胶密封圈　6—丁腈橡胶管

7—石蜡　8—感应器体

沸腾。

2）将节温器芯放入沸腾的烧杯中，持续加热并保持 5～8min。

3）用尖嘴钳将烧杯中的节温器芯夹住，注意不能用手，防止烫伤。

4）按节温器行程设定卡规宽度，将卡规顺利放入节温器阀门开启距离内。

5）若卡规能顺利取出，即判定节温器主阀门行程合格，否则判定为不合格。

6）整个测量过程应在 5～8s 内完成，否则测量结果将出现失真。

不同型号的节温器，其节温器主阀门的开启行程是不相同的，判定节温器失效与否，应当根据不同型号的节温器主阀门开启行程来判定。

第八节　电气系统

一、电气系统的构成

电气系统主要由线束、发动机控制模块（ECM）、电子控制模块（ICM）、冷却液温度传感器、机油压力传感器、进气温度传感器、进气压力传感器、转速传感器、冷却液温度传感器、氧传感器、湿度传感器、电子加速踏板、电子节气门、废气控制阀、点火线圈、火花塞、高压线、发电机、起动机和线束等组成。

起动系统主要由蓄电池、发电机、起动机和起动继电器组成。

蓄电池的作用主要是储存发电机发出的电量，在起动时，给起动机提供电压。

二、发动机的起动与补充电源

发电机是汽车的主要电源，其功用是在发动机正常运转时（怠速转速以上），向所有用电设备（起动机除外）供电，同时向蓄电池充电。发电机的外形如图 3-59 所示。

起动机的主要作用是起动发动机。电源接通起动机，驱动起动机上的单向离合器齿轮前移，与发动机曲轴相连的飞轮齿圈啮合，起动机旋转驱动飞轮齿圈旋转，带动发动机运转起动。汽车起动机的控制装置包括电磁开关、起动继电器和点火起动开关等部件，其中电磁开关与起动机制作在一起。在起动汽车的过程中，扭动钥匙只给起动机一个相对较小的电流，这个电流送给起动机的吸合绕组，使其完成两个动作：一是本身的离合齿轮啮合，使其能够带动发动机转动；二是使一个较大的触点闭合，给起动机的直流电动机供电，完成起动发动机的动作。



图 3-59　发电机外形

起动机使用时，应注意每次起动时间不应超过 5s，每次起动间隔不应少于 10～15s，连续起动不应超过 3 次。若连续起动时间过长，将造成蓄电池大量放电和起动机绕组过热冒烟，致使起动机受损。起动机外形如图 3-60 所示。

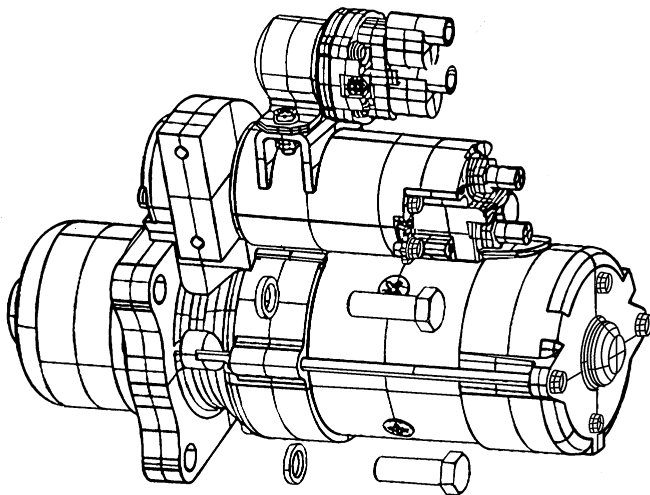


图 3-60　起动机外形

三、LNG 载货汽车电气控制系统

LNG 载货汽车电气控制系统，除与柴油汽车相同的控制要求以外，还包括如下内容：控制供气系统的压力、显示 LNG 储量、温度，控制电子点火系统等。控制系统原理示意如图 3-61（见书后插页）所示。

控制供气系统的压力：在气瓶内装有压力传感器，用压力表上的数字显示气瓶内的压力；在缓冲罐内装有压力传感器，用压力表上的数字显示缓冲罐内的气体压力。

控制气瓶的液化气储量：在气瓶内装有差压变送器传感器，用液位显示器仪表显示气瓶

内 LNG 储存量。

控制汽化后的温度：在汽化器和天然气气体加热器的出口端装有温度传感器，用电子控制模块（ICM）同步显示 LNG 汽化后管道内天然气的温度值。

控制汽化后的温度：ECU 定时采集发动机的各传感器动态参数，按预先编好的程序处理这些数据，并存入随机存储器（RAM）中。

同时 ECU 还要根据电源电压大小、读取 ROM 中来自 ECM 的点火指令，产生高电压并将高电压传递给火花塞产生火花，点燃天然气。点火线圈能根据 ECM 指令控制点火时刻。电气控制系统其余控制要求与柴油发动机相同。



第四章 LNG发动机供气系统的构成

发动机供气系统的作用是将 LNG 气瓶汽化后的气态气体，进行热交换以提高进气温度、过滤气体中的细微颗粒杂质、调压至 LNG 发动机所需要的压力，输入发动机混合器里进行充分混合，再根据发动机的不同工况、负载，气缸内燃烧工作压力，冷却液温度要求，按最佳的空燃比进行混合，并控制 LNG 供气流量、调节供气压力，以保证发动机发出最佳的机械效率。

第一节　燃料供给系统

LNG 载货汽车燃料供给系统由汽车燃料供给系统、发动机燃料供给系统两部分组成。发动机与汽车供气系统属于两个不同类型的零部件系统，两个系统最终相串联组成 LNG 载货汽车燃料供给系统。

一、汽车燃料供给系统

汽车燃料供给系统由气瓶总成、出液管道、汽化器、低压减压阀、缓冲罐、稳压器和低压燃气滤清器等构成，如图 4-1 所示。

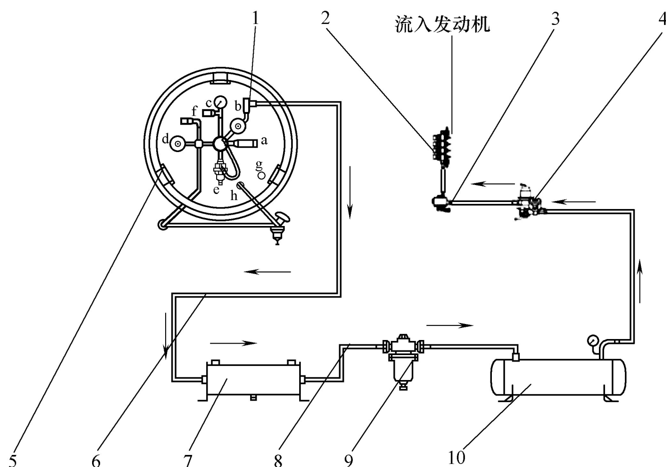


图 4-1　汽车燃料供给系统

1—出液阀　2—发动机电磁阀、混合气　3—低压燃气滤清器　4—减压阀　5—气瓶　6—液化气管　7—汽化器　8—汽化器出气管　9—稳压器　10—缓冲罐

LNG 气体从气瓶出液阀流出，经液化气管流入汽化器进行汽化后，经汽化器出气管流入稳压器，再流入缓冲罐，从缓冲罐出来经减压阀后，再流入低压燃气滤清器，最后流入发动机……

二、发动机燃料供给系统

发动机燃料供给系统由混合器、电控调压器（EPR 阀）、电子节气门和低压电磁阀构成，如图 4-2 所示。

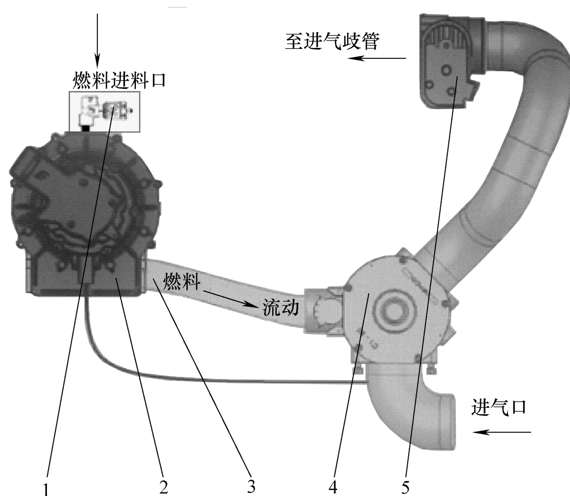


图 4-2　发动机燃料供给系统

1—低压电磁阀　2—电控调压器（EPR 阀）　3—混合器进气胶管　4—混合器　5—电子节气门

汽化后的气体从汽车供气系统流出，如图 4-1 所示，流入发动机低压电磁阀、电控调压器（EPR 阀），经混合器进气胶管流入混合器进行混合，最后经电子节气门流入发动机燃烧室燃烧，如图 4-2 所示。

1. 混合器

混合器将增压中冷后的空气与气态天然气充分混合。气态天然气的气压大于中冷后的空气，电控系统按比例将中冷后的空气与天然气在混合器里混合，根据发动机不同的运转工况，混合器能精确地控制其空燃比，使发动机燃烧更充分、柔和，可有效降低 NO_x 的排放和排气温度。

安装要求：调压器出气管安装在混合器天然气入口处，注意螺栓必须拧紧，安装时锥螺纹部分必须使用螺纹密封胶，以防止漏气。

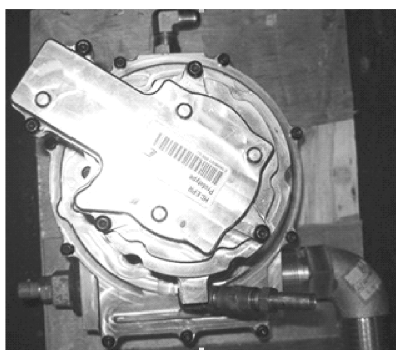
2. 电控调压器（EPR 阀）

电控调压器（EPR）外形如图 4-3 所示。

电控调压器是电子控制的压力调节器，其内部有一控制芯片接受 ECM 的指令，根据发动机运行工况，通过电磁阀控制天然气量及压力，从而实时有效地控制空燃比。电控调压器内有压力传感器，用于测量调压器出口和混合气入口处的气压差，可将电控调压器的燃气温度控制在 $-40 \sim 105$℃范围内。

由于该部件内部有控制芯片，应避免高频振动。该部件自带减振软垫，切勿自行拆卸。

安装要求：电控调压器出气口中心水平高度不能低于混合器进气口中心高度，电控调压器天然气出气口离混合器天然气进气口距离要求控制在 500mm 以内。


图 4-3　电控调压器（EPR 阀）

以上安装要求目的是为了让天然气中的杂质流到混合器中，随着空气进入发动机气缸内燃烧掉，保持调压器内的清洁，并且保证天然气供给响应速度快。

电控调压器（EPR）在使用中需进行定期的维护保养。由于电控调压器处于低压状态，在长期的使用过程中会在其内部沉积大量的油污和杂质，长时间会导致电控调压器工作不良、传感器损坏以及内部的密封件和橡胶膜片提前老化和破损，因此该部件的维护保养尤为重要。

1）每 5 万 km：需对内部零部件进行清洗，更换易损件，检查轴销的磨损情况。

2）每 15 万 km：需更换膜片及密封件，并对压力进行校准。

3. 电子节气门

电子节气门通过控制节气门的开度，控制进入气缸内混合气的量，从而控制发动机的转速和负荷。驾驶人通过加速踏板，将动力需求传送给 ECM，ECM 接收到加速踏板信号后，根据发动机运行工况控制电子节气门开度。

安装要求：安装电子节气门时，驱动电动机轴线必须保持水平方向。

4. 低压电磁阀

低压电磁阀安装在电控调压器天然气入口处，控制天然气的供给量。

工作原理：由线圈驱动阀芯，由 ECM 控制其开合，停机状态下处于常闭状态。

作用：及时切断或恢复燃料供给。

安装要求：要求安装在电控调压器上面，如图 4-4 所示。

平时应注意保持该电磁阀的清洁，视供给燃料的清洁度，一般每行驶 5 万 km 清洗一次。清洗时，应拆除电磁阀线圈，取出阀芯、阀座，并将它们浸泡在汽油中，清洗后再用压缩空气吹干。

低压电磁阀安装在电控调压器天然气入口处。

汽化器与低压电磁阀之间采用低压软管连接，低压软管长度不得超过 1500mm，并在设计汽化器安装位置时，应尽可能缩短低压软管长度。

为减少低压软管流程阻力，满足发动机流量要求，低压软管内径必须大于 13mm。

低压电磁阀与低压软管采用扣压式接头方式连接。

不同功率的发动机对于天然气的流量要求不同。为保证发动机天然气流量的有效供给，供气系统的压力应当比进入低压电磁阀的压力略高 50 ~ 100kPa。

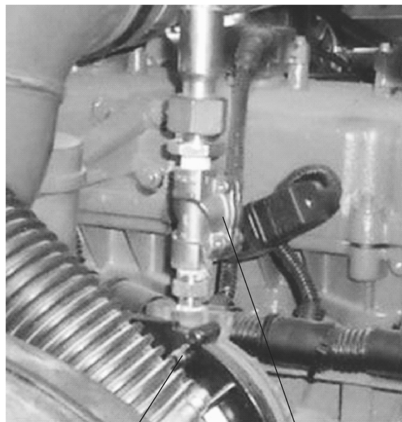


图 4-4　低压电磁阀

第二节　点火系统

点火系统根据 LNG 发动机的工作顺序，适时向 LNG 发动机提供强烈的高压火花。点火系统的功能体现在点火的时机和产生点火火花的强度。点火系统的工作原理如图 4-5 所示。

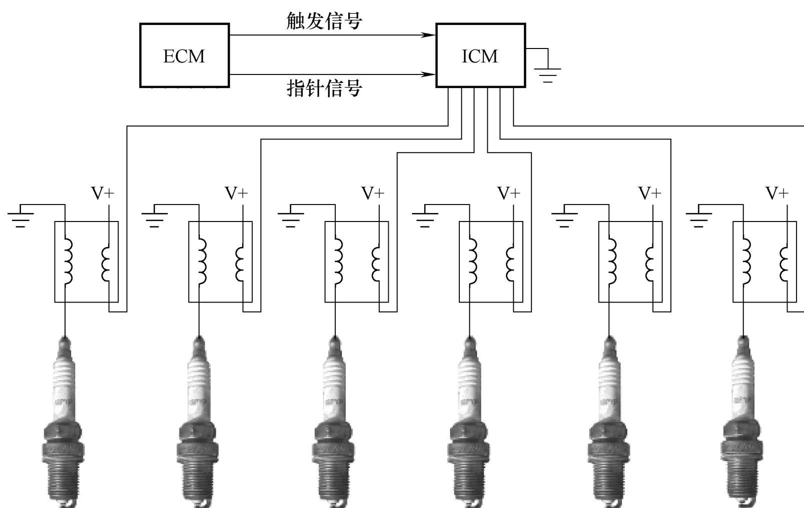


图 4-5　电子点火系统工作原理

一、点火线圈

作用：接收来自 ECM 的点火指令，产生高电压并将高电压传递给火花塞产生火花，点燃混合气体。点火线圈能根据 ECM 的指令控制点火时刻，实现最佳点火，使发动机实现低排放、低燃气耗。

安装要求：安装时拧紧点火线圈安装螺栓，并保证点火线圈胶套内弹簧与火花塞头部紧密接触。

二、火花塞

作用：接收来自点火线圈的高电压，产生火花，点燃混合气体。

安装要求：安装时拧紧火花塞，拧紧力矩为 30N · m。拧紧火花塞时必须使用专用火花塞套筒。

由于高压电会在接触表面产生电弧，弹簧与火花塞头部接触的部位受热氧化，导致接触部位电阻过大、分压作用过大，造成火花塞点火能量降低，严重时会导致失火。所以安装火花塞和点火线圈时，必须在火花塞头部涂抹导电膏。在胶套与火花塞接触的陶瓷部位应该涂抹绝缘润滑油脂，以防止因胶套老化导致火花塞与气缸盖之间漏电。

火花塞电极间隙：（0.48 ±0.08）mm。

第三节　进气压力控制系统

一、废气旁通控制阀

废气旁通控制阀又叫旁通控制电磁阀，ECM 通过控制废气旁通控制阀的空燃比，控制废气旁通控制阀的出口压力，从而控制发动机的增压压力。

采用该技术能有效地提升发动机低速转矩，满足汽车频繁起步的工作要求。废气旁通控制阀原理如图 4-6 所示。

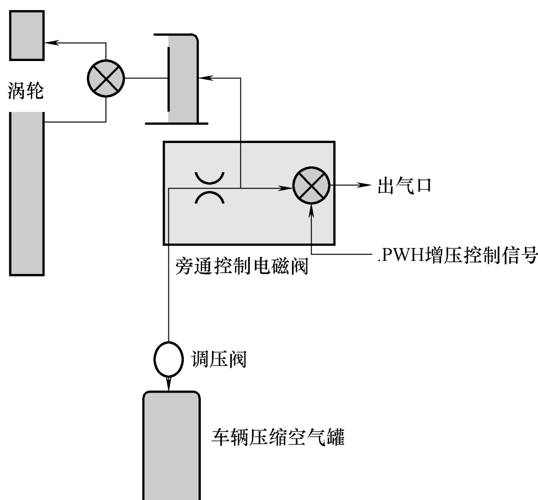


图 4-6　废气旁通控制阀原理示意

安装要求：安装在散热条件较好的低温区，以保证零部件可靠性。

二、防喘振阀

防喘振阀的外形如图 4-7 所示。

在 LNG 发动机中，当涡轮增压器在高增压状态下工作并且节气门关闭时，在涡轮增压器和节气门之间会产生很大的背压，这会使涡轮增压器压气机叶轮停止运转，或者使涡轮增压器出现喘振。在发动机突然减速时，通过防喘振阀通气软管将节气门后的低压压力传递到防喘振阀压力反馈接头上，从而打开防喘振阀单向截止膜片，使涡轮增压器压气机前后压力平衡，避免涡轮增压器喘振。

防喘振阀实际上是涡轮增压发动机的一个保护装置，可防止涡轮增压器部件产生加速磨损和疲劳，以保护涡轮增压器。



图 4-7　防喘振阀外形示意

安装要求：该零件共有三个接口，一个接口通过防喘振阀通气软管连通防喘振阀和进气管压力，另外两个 ϕ25mm

外径的接口分别连接涡轮增压器前进气管和增压器后进气管。

防喘振阀的连接安装要求，详见第一章第三节。

第四节　传感器

LNG 发动机的传感器主要有氧传感器、大气环境传感器、节气门后进气压力/温度传感器、凸轮轴位置传感器、冷却液温度传感器、天然气温度传感器和电子加速踏板。

一、氧传感器

氧传感器一般安装在发动机排气管上。氧传感器的安装位置及外形如图 4-8 所示。

作用：通过检测排气中氧分子浓度，从而测量燃烧时的空燃比，ECM 根据测量所得的空燃比修正燃气供给量。

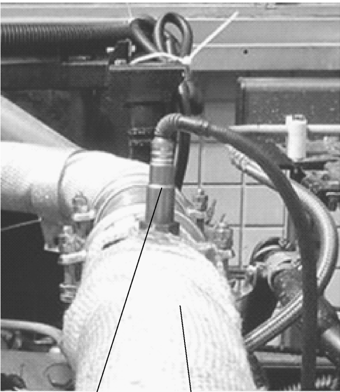
安装要求：

1）要求在离涡轮增压器出口或排气弯管下游 3 ~ 5 倍排气管直径（250 ~ 400mm）的地方，焊接一个氧传感器安装座，供安装氧传感器用。氧传感器应安装在排气管远离发动机一侧（不能安装在排气管下方），传感器线束走向应尽量远离发动机和排气管，并可靠固定。

2）氧传感器不能安装在排气管转弯处。氧传感器在满足前面安装要求的情况下应尽可能靠近涡轮增压器，如果有排气制动阀，氧传感器应安放在排气制动阀的下游。氧传感器的安装位置处不能进雨水，氧传感器和发动机之间最好有隔热罩等隔热装置。

二、大气环境传感器

大气环境传感器（湿度传感器）的外形如图 4-9 所示。



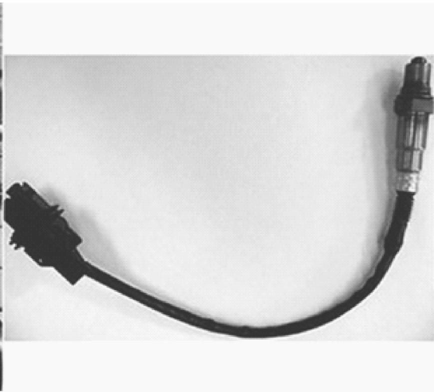


图 4-8　氧传感器外形示意

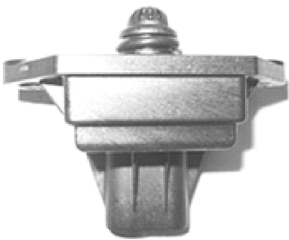


图 4-9　大气环境传感器外形示意

作用：通过测量进气压力、温度、湿度，并根据所测得的湿度、压力来修正实际控制空

燃比和天然气供给量，使发动机运行在最佳状态。

安装要求：该传感器要求安装在空气滤清器和涡轮增压器之间的空气管路上，为保证传感器测量值准确，安装时必须保证传感器底面 4 个湿度测量小孔不被挡住，并且该传感器温度、压力探头必须置于气流中以正确测量。

三、节气门后进气压力/温度传感器

节气门后进气压力/温度传感器的外形如图 4-10 所示，其工作原理如图 4-11 所示。



图 4-10　节气门后进气压力/温度传感器外形示意

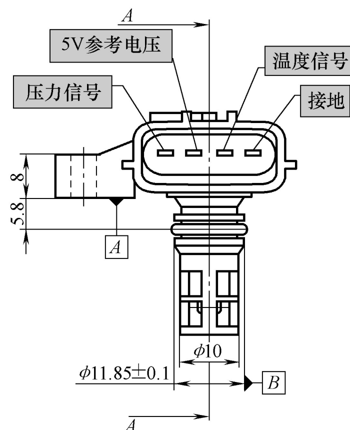


图 4-11　节气门后进气压力/温度传感器原理

作用：通过测量中冷后空气的压力、温度，结合发动机转速、排量、充气效率，利用速度密度法即可计算出进气流量。

安装要求：该零件要求安装在电子节气门下游的进气管上，安装时尽可能让传感器温度、压力探头置于混合气气流中，以测量出正确的值。

四、凸轮轴位置传感器

凸轮轴位置传感器的外形如图 4-12 所示。



图 4-12　凸轮轴位置传感器的外形

作用：通过信号轮的触发信号，将第一缸活塞压缩上止点位置及时准确地传递给 ECM，同时还有测量曲轴转速的功能。ECM 根据触发信号及控制进气歧管绝对压力（MAP）来控制发动机的点火提前角、空燃比、增压压力等参数。

五、冷却液温度传感器

冷却液温度传感器装在发动机温度最高的冷却液出口处，一般装在节温器座上。冷却液温度传感器的安装如图 4-13 所示。

冷却液温度传感器向发动机控制单元提供一个温度变化的模拟量信号，它由控制单元提供 5V 电源，返回控制单元的信号为 1.3～3.8V 的线性变化信号。冷却液温度传感器的信号对于控制单元非常重要，因为发动机在不同的工作温度下有不同的工作方法。

冷却液温度传感器的工作使用温度范围为 40～130℃。

作用：主要用于测量发动机冷却液的温度，从而精确控制天然气的供给量。

工作原理：把温度信号转化为电压信号（温度升高，电压减小，二者之间成反比线性关系），然后传送给 ECM，由其进行相关比较，运算后控制执行器的动作。

ECM 根据冷却液温度修正点火提前角、空燃比及怠速转速等参数，同时在冷却液温度失控的情况下限制发动机的功率，从而保护发动机。

安装要求：牢固安装在发动机上指定位置，拧紧力矩为 15～20N·m。

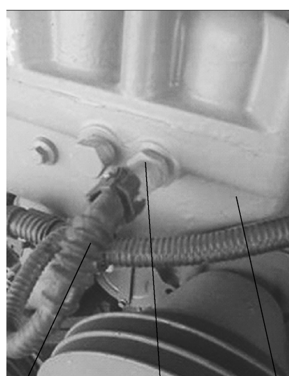


图 4-13　冷却液温度传感器的安装示意

六、天然气温度传感器

天然气温度传感器安装在电控调压器上指定位置，安装时加耐低温密封胶，或者低温生胶带，以确保天然气密封不泄漏。天然气温度传感器的外形如图 4-14 所示。

作用：实时测量电控调压器出口处的天然气温度，ECM 根据测量到的温度、压力等参数以及所需要的目标空燃比，计算出需要提供给发动机的天然气供给量。

安装要求：牢固安装在电控调压器上指定位置，要求加密封胶，确保不发生天然气泄漏，拧紧力矩为 15～20N·m。

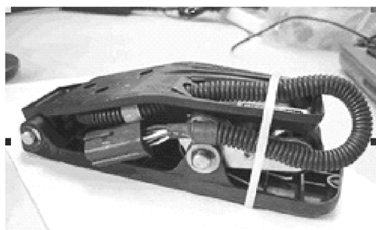

图 4-14　天然气温度传感器的外形

七、电子加速踏板

电子加速踏板的外形如图 4-15 所示。

电子加速踏板通过了解驾驶人的意愿进而了解发动机的负荷状况。它安装于驾驶室内加速踏板上。

工作原理：把发动机的负荷信号转变为电信号（负荷越高，电压越大）然后把此信息传送给 ECM 由其进行相关比较和计算后，发出指令控制相关的执行器。


图 4-15　电子加速踏板的外形

作用：驾驶人通过电子加速踏板驱动和控制发动机运行工况，其信号反映驾驶人的实际动力需求。

安装要求：该加速踏板为接触式电子加速踏板，安装时注意应将加速踏板布置在防油、防水、防电磁干扰等条件较好的地方。为防止整车电磁干扰影响电子加速踏板传递给 ECM 的信号，要求电子加速踏板至整车接口信号线必须使用屏蔽线，并且屏蔽层要接地牢固可靠。

第五节 电子控制模块

电子控制模块（ECM）是发动机控制管理的核心。电子控制模块（ECM）外形如图4-16所示。

作用：通过各种传感器监控发动机在不同负荷情况下运行的工况；根据发动机运行工况控制各执行器，并通过各种连接完成各子系统通信；向发动机提供最佳空燃比的混合气和最佳点火时间，使发动机始终处在最佳工作状态，发动机的性能（动力性、经济型、排放性）达到最佳。



图 4-16 电子控制模块（ECM）外形

安装要求：安装电子控制模块（ECM）时，尽可能将其安装在振动较小的地方，并应当具有防水、防油、防高温的措施。

主要功能：燃料喷射（EFI）控制、点火（ESA）控制、怠速控制（ISC）、排放控制、自诊断与报警和 CAN 总线接口。

第五章 LNG 载货汽车动力特性、主要部件使用要求



LNG 载货汽车动力系统特性主要表现在：

1）由于 LNG 温度低，可以降低混合气的温度，从而降低燃烧温度，提高发动机的热效率。

2）天然气的辛烷值很高（比汽油高 50%），抗爆性强，所以能适当提高发动机的压缩比。

3）由于辛烷值很高，可以增大点火提前角，以提高发动机的动力性。

4）提高增压效率（水冷增压器）、降低进气温度，提高进气密度，增加充气量。

5）LNG 发动机的动力特性、功率和转矩值略低于柴油发动机，比汽油发动机高 15% ~ 20%。

第一节　LNG 载货汽车动力系统特性及使用要求

因燃料不同，LNG 发动机与燃油发动机的特性不同，只有熟悉、了解 LNG 载货汽车的动力特性，才能正确使用 LNG 载货汽车，保证其动力性得到充分的发挥。

一、LNG 载货汽车动力系统的特性

1）天然气辛烷值可达 130RON，抗爆性能好于汽油。LNG 发动机的压缩比一般可达 11 ~ 12。

2）燃油发动机使用的混合气是燃油和空气，而 LNG 发动机使用的混合气则是天然气和空气。前者空气与燃油的体积比为 58:1，燃油体积可以忽略不计，但后者空气与天然气的体积比为 9.5:1，燃气体积上升 6 倍，这必然导致相对进气量减少，充气系数下降，从而导致发动机功率下降。为提高充气效率，天然气发动机通常采取进气增压及优化燃气和空气混合器的设计，提高进气效率。

3）天然气的自燃温度在 650℃ 以上，发动机压缩过程中缸内混合气的温度达不到这个温度，单一燃料天然气发动机必须采用高能量火花塞强制点火。

4）LNG 是液化天然气，在进入发动机燃烧之前，有一个由液态转化为气态的吸热过程。

5）LNG 发动机以气体为燃料，不像燃油燃料一样有自润滑作用，也不像燃油燃料能起

到一定的密封性，因此对润滑系统要求较高。

6）因天然气燃烧的特点，使能量转换效率比汽油、柴油偏低，有较多的能量转化为热量散失。同时，LNG 发动机的发热量要大于汽油、柴油发动机，使发动机温度偏高。

7）天然气是在自然界中天然形成的，因形成条件及物质不同，因此各地的天然气成分也不尽相同。同时，LNG 处于液态，由于存在热交换，LNG 气瓶内的气体会随着热交换蒸发，从而也会改变 LNG 的成分，对燃烧性能会产生一定的影响。

二、使用要求

针对以上 LNG 发动机特性，在使用上有以下六个方面要求。

1. 天然气燃点高

天然气燃点高，燃烧范围较窄，点火系统要求较高。天然气的自燃温度在 650℃以上，发动机压缩过程中缸内混合气的温度达不到这个温度，必须采用火花塞强制点火。由于天然气的燃烧范围较窄，因此要求点火能量较大，火花塞的点火电压可达到 40kV 或更高。

由于天然气发动机气缸内燃烧温度比较高，而进气对火花塞的冷却效果较燃油发动机要差，随着使用时间的推移，火花塞会逐渐腐蚀且电极间隙扩大，火花塞跳火需要的能量将增大，严重时会出现失火现象。因此，为保证有良好的点火性能，每行驶 2 万 km 必须检查火花塞电极烧蚀情况，以及高压线胶套是否老化、开裂，同时清理火花塞电极间杂质和点火线圈接线柱的氧化物。安装火花塞和点火线圈时，必须在胶套与火花塞接触的陶瓷部位涂抹绝缘润滑油脂，以防止因胶套老化导致火花塞与气缸盖之间漏电，在火花塞头部涂抹导电膏以增加导电性。

注意：天然气发动机火花塞都是特制产品，不同机型有所差异。不同于汽油发动机火花塞，替代品参数不正确会损坏电控单元等贵重部件。

2. LNG 发动机应使用天然气润滑机油

天然气发动机燃烧的主要是高纯度的气态甲烷，由于燃气的燃烧着火点延后，有部分是在膨胀过程中燃烧的。因此，有大量的能量转化为热能，造成燃烧室温度比燃油发动机高 100～150℃，使用普通机油会很快氧化。普通机油的高灰分添加剂极易在 LNG 发动机部件表面生成坚硬沉积物，引起 LNG 发动机异常磨损、火花塞堵塞及气门积炭、发动机爆燃、点火时间不准确和阀门喷火，致使发动机动力下降、功率不稳定等，甚至缩短发动机的使用寿命。

因此，LNG 发动机需要使用低硫酸盐灰分、高耐磨、抗氧化，且低硫含量的天然气专用机油，才能满足 LNG 发动机的使用要求。

注意：天然气发动机达到保养周期后，机油虽然看起来很清澈（这是与柴油机的显著区别之一），但实际上其内部添加剂已消耗殆尽，需按要求更换。

3. LNG 发动机应使用优质防冻液

LNG 发动机的冷却液除原有的冷却功能外，还有加热天然气的作用，若冷却液凝点高，有可能在起动初期使冷却液结冰，影响 LNG 汽化。同时，若冷却液品质不好，易产生结垢现象，就会降低热交换能力，导致汽化器效率下降，直接影响发动机的燃气供给，使发动机功率下降，进而影响燃气系统的下游装置及零部件，严重的还可能导致汽化器冻裂而损坏。因此，应绝对保证发动机冷却液的品质，应采用凝点更低、防腐性能更好、不结垢的软质防

冻液。

4. 注意增压控制系统的工作状态

由于气体发动机充气效率比汽油发动机、柴油发动机低，为提高发动机的功率，采取涡轮增压中冷技术是气体发动机提高功率的重要手段之一。同时，许多天然气发动机采用了稀薄燃烧技术，对增压压力非常敏感：如果增压压力不足，将会使发动机动力性明显下降；如果增压压力过高，将产生过增压现象，会增加爆燃的风险。为适应不同负荷对增压压力的不同要求，天然气载货汽车均会对增压压力进行控制，以保证发动机具有理想的转矩曲线及良好的瞬态响应性能。同时为增大进气密度及防止爆燃，通常都会对增压后的气体用中冷器将进入混合器的空气进行冷却处理，以降低进入发动机气体的温度。

在车辆保养时，要注意对增压控制系统的检查：检查各连接管路是否有裂纹、破损，阀门的隔网是否被堵塞，清理中冷器外表面；同时要注意在更换连接管路时，管路长度不可更改，否则增压控制可能会不稳定。

5. 不宜使用存放时间过长的 LNG

LNG 气瓶储存的 LNG 存在吸热蒸发的情况，气瓶吸收外界热量而使气瓶内压力增大，超过 1.59～1.75MPa 时，一级安全阀会自动排除超压的天然气。由于甲烷要比其他重馏分的烷类更容易蒸发，故自动排出的天然气主要是抗爆性较好的甲烷。随着重馏分的增加，混合气的体积热值增大，致使着火点延后。在低负荷时，由于燃烧主要在膨胀行程进行，造成发动机动力性下降；在高负荷时，放热率增大，燃烧集中，有爆燃的倾向，可能会对发动机燃烧系统造成破坏。

因此，车用 LNG 气瓶内的 LNG 储存时间不宜过长，以免重馏分浓度过高，影响发动机的安全运行。

6. 调整点火系统

应针对不同地区出产的天然气对供气及点火系统进行调整。天然气除甲烷外，还含有乙烷、丙烷、丁烷以及少量戊烷以上的烃类及少量氮气、氢气等非烃类气体。各地天然气形成过程不尽相同，所以组分也不完全相同，发动机的点火提前角，应当根据天然气的主要成分进行适当的调整。

不同组分的天然气燃烧特性也会有少许区别，为了避免 LNG 成分对发动机燃烧特性的影响，要尽量选择固定的加气站进行加气。如需要在不同的加气站进行加气，也要选择组分相近的加气站。

为保证发动机性能，在使用不同地区出产的天然气时，应对供气压力及点火提前角进行适当的调整。

第二节　供气系统主要部件作用

一、储液气瓶

天然气以液态形式储存于低温、低压的真空绝缘气瓶内，气瓶采用双层真空绝热结构，由内胆、外壳、内夹层绝热件和阀件舱等组成。气瓶内部温度一般处于 －162～－138℃，气

瓶充满时的工作压力正常不应超过 1.59～1.75MPa。正常情况下，使用气瓶时最小工作压力不能低于 0.65MPa，否则会出现发动机供气不足、动力性下降的现象，并且会导致废气催化转化器烧结等现象。

二、汽化器

LNG 需要经汽化器升温膨胀后汽化成气态，才能供给发动机燃烧。LNG 在汽化过程中会吸收较多的热量。汽化器利用发动机冷却液提供热量，促使低温、液态的天然气转变成气态的天然气。

三、缓冲罐

缓冲罐的作用是在罐内储备一定量的气体，当载货汽车行驶中因负荷增大，需要较大气量（如需要瞬时增大功率），而汽化气体量又不足以保证载货汽车动力所需要时，可以提供额外的气量，以避免供气量不足。如果发动机功率不高，可以不装缓冲罐。

四、稳压器

当气瓶内液体温度升高，气瓶内的气体压力也会升高，而发动机最高压力一般要求小于 1.38MPa，超过该压力可能会出现稳压器失效、发动机无法起动、游车、废气催化转化器烧结等故障。稳压器的作用是使压力降低至稳压器设定压力，以保证进入发动机的气体压力符合发动机燃烧的要求。

稳压器的调节压力、流量与发动机的排量和功率有关，不同发动机的供气压力、供气流量都不一样。重型汽车发动机供气压力、供气流量要求见表 5-1。

表 5-1　发动机与稳压器匹配参数

发动机功率 /kW	稳压器压力设定值（表压）/10^5 Pa	流量要求 /(m^3/h)	发动机功率 /kW	稳压器压力设定值（表压）/10^5 Pa	流量要求 /(m^3/h)
110	10	>35	191	10	>68
125	10	>40	213	10	>80
140	10	>48	235	10	>87
154.5	10	>56	250	10	>92
169	10	>60	276	10	>96

五、低压燃气滤清器

LNG 在液化以及加液、调温、充装到槽车等过程中，均会不同程度地产生污染。而供气系统中有许多精密组件及不耐油的膜片，为有效防止油、粉尘等杂质污染，导致电控燃气零部件失效，需要安装燃气滤清器。为防止燃气滤清器失效，应按规定定期更换燃气滤清器。

六、低压电磁阀

低压电磁阀是为了及时切断或恢复燃料供给，其由 ECM 控制开合，停机状态下处于常闭状态，以阻止天然气流向发动机，防止天然气泄漏。平时应注意对低压电磁阀的清洁，视

供给燃料的清洁度，对低压电磁阀进行清洗保养。清洗时，应拆除低压电磁阀线圈，取出阀芯、阀座，并将它们浸泡在汽油中清洗，清洗后再用干压缩空气吹干后使用。

七、电控调压器（EPR 阀）

电控调压器是电子控制的压力调节器，其作用一是将天然气的压力降低，二是精确控制 EPR 阀出口的燃料流量。

电控调压器内部有控制芯片接受 ECM 的指令，根据 LNG 发动机运行工况控制天然气气量及压力，从而有效地控制空燃比。由于电控调压器处于低压状态，在长期的使用过程中会在其内部沉积大量的油污和杂质，长时间会导致电控调压器工作不良、传感器损坏以及内部的密封件和橡胶膜片提前老化和破损，因此该部件的维护保养尤为重要。要经常拧松电控调压器出气口上的排污柱进行排污，以保证电控调压器内部清洁。

八、混合器

混合器的作用是将经增压及中冷后的空气与天然气充分混合。混合器安装在进气道的喉管处，其内有一个被弹簧控制的膜片，可根据空气的流入量，决定其内部膜片的开度，从而控制天然气的喷入量。混合器主要有膜片损坏和燃料空气阀卡滞两种故障。发动机经常性回火会导致膜片老化加剧，致使膜片出现皱裂和破损。供气系统及天然气供应系统如果有油污、杂质过滤不充分等现象，长时间的积累会导致燃料空气阀运动受阻，甚至完全卡死，从而导致发动机工作不稳定。

应定期对混合器进行强制保养。保养时从发动机上拆下混合器总成，检查混合器内部是否有明显的油污，若有油污，则需将混合器放入汽油中浸泡清洗，清洗后用干压缩空气吹干。清洗后，用手沿燃气阀运动轴线方向按压阀芯，检查阀芯运动有无卡滞、是否回位，若出现卡滞，则需要更换混合器总成。

九、电子节气门

电子节气门集成有执行器、位置传感器，节气门等。驾驶人通过加速踏板，将动力需求传送给 ECM，ECM 接收到加速踏板的信号后，根据发动机运行工况控制电子节气门开度，从而控制混合气进气量，以改变发动机的输出功率。

应定期对电子节气门进行保养。保养时应从发动机上拆下节气门，检查节气门内部是否有明显的油污。若有油污，则需用节气门清洗剂清洗节气门部分，清洗后用干压缩空气吹干，再用手按压节气门，检查节气门运动有无卡滞、是否回位，若出现卡滞，则需要更换电控节气门总成。

十、燃气计量阀

燃气喷射分为单点喷射或者多点喷射两种。燃气计量阀由燃料喷嘴和计量阀组成。燃气计量阀按喷嘴的数量分为 P8 型、P10 型或者 P12 型。燃料喷嘴两组平行布置，每个喷嘴一个驱动器，在正常喷射模式下，喷嘴依次轮流喷射，在某些变工况下，也可以采取多喷嘴同时喷射的方法，以加快系统反应速度。图 5-1、图 5-2 所示分别为 P8 型和 P12 型燃气计量阀。

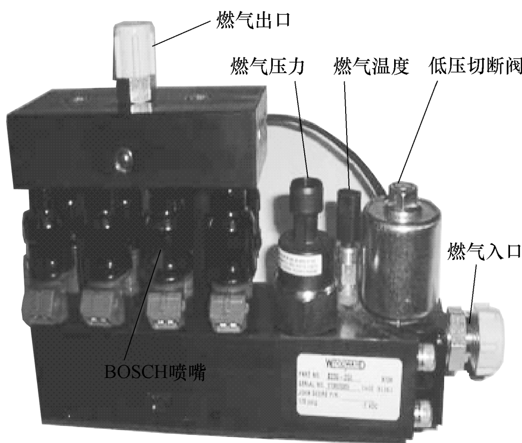


图 5-1　P8 型燃气计量阀结构示意

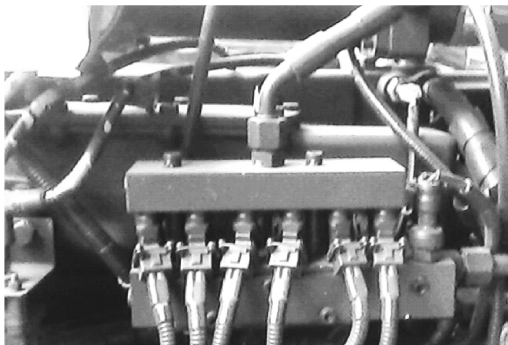


图 5-2　P12 型燃气计量阀在发动机上的安装

喷嘴与发动机的匹配一般与发动机的排量有关，发动机排量越大，所配喷嘴的数量就越多，这样才能满足发动机供气流量的要求。以潍柴 LNG 发动机为例，WP6 气体发动机采用 P8 喷嘴，WP10 气体发动机采用 P10 喷嘴，WP12 发动机采用 P12 喷嘴，其配置详见表 5-2。

表 5-2　燃料喷嘴与发动机的匹配

发动机型号	发动机排量/L	喷嘴型号	喷嘴数量	发动机额定功率/kW
WP6NG210E40	6.75	P8	8	155
WP10NG336E40	9.726	P10	10	247
WP10NG380E40	9.726	P12	12	280

燃气计量阀安装在发动机上，如图 5-2 所示。汽化后的天然气体通过稳压器将压力稳定在 LNG 发动机要求的工作压力范围内，然后经缓冲罐、减压阀、低压燃气滤清器进入发动机上的燃气计量阀。燃气计量阀再根据 ECM 收集到的发动机瞬时天然气温度、供气系统压力等参数发出指令，通过 ECM 控制燃气喷嘴的开启，并控制燃气喷嘴开启时间的长短，精确计算供给发动机的供气量，以保证发动机在设定的空燃比下工作。

LNG 燃料是以气态方式进入发动机的，进入发动机气缸的方式一般分为：

1）采用进气道预混合方式。将燃气与空气按照一定的空燃比混合，通过混合器均匀混

合后，从进气道进入发动机各个气缸内燃烧做功。

2）采用单点喷射混合方式。将燃气用喷射器按照电控指令，适时喷入发动机进气道内，让燃气与空气在进气道内按照比例混合后，再从进气道进入发动机各个气缸内燃烧做功。

3）采用多点喷射混合方式。设在每个气缸入口进气道上的喷射器将燃料喷入发动机进气道内，让燃气与空气在进气道内按照比例精确混合后，再从进气道进入发动机各个气缸内燃烧做功。

要求：燃料喷嘴的工作环境温度为 -40 ~125℃，燃气温度为 -40 ~90℃，当燃气温度大于 60℃时会导致燃气流量的减少。

第六章

LNG载货汽车供气系统的结构形式



LNG 载货汽车主要分为牵引汽车、自卸汽车、矿用车和水泥搅拌车等。根据不同的载货质量、耗气量，以及汽车的续驶距离、距加气站距离等因素来选择气瓶的容积，或者根据行驶作业时间、加气时间来选择气瓶的容积（一个工作日加一次气）。

供气系统的构成，一般是根据气瓶容积大小、气瓶的数量、设置的结构形式来确定。常用的 LNG 气瓶配置形式有单后置气瓶、双后置气瓶、单侧置气瓶和两侧置气瓶等几种结构形式。

按气瓶数量分，常用的 LNG 气瓶配置形式有单气瓶、双气瓶两种。图 6-1 所示是单气瓶供气系统的工作原理，图 6-2 所示是双气瓶供气系统的工作原理。

车用气瓶选用的有效容积常根据市场、用户的需要来进行。气瓶的选择原则有：

1）ϕ506mm 系列气瓶适用于小型公交车、轻型或者中型载货汽车。由于气瓶使用容积小，因此充装 LNG 容量较少，行驶路程较短。

2）ϕ656mm 系列气瓶适用于大型公交车，长途客车和重型载货汽车。由于气瓶使用容积大，因此充装 LNG 容量较多，行驶路程也较远。

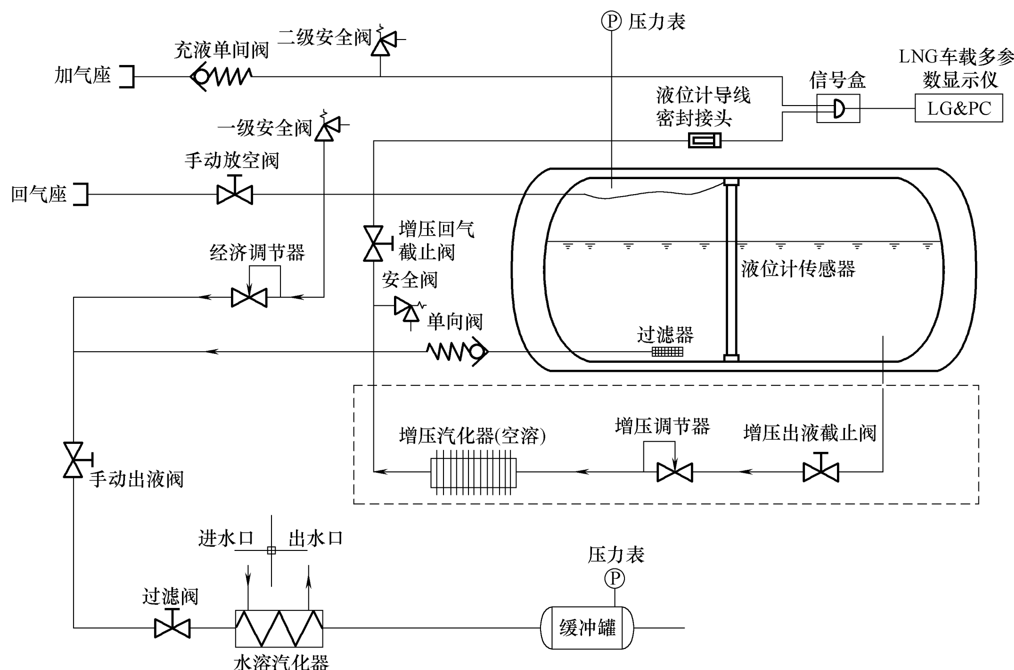


图 6-1　单气瓶供气系统工作原理

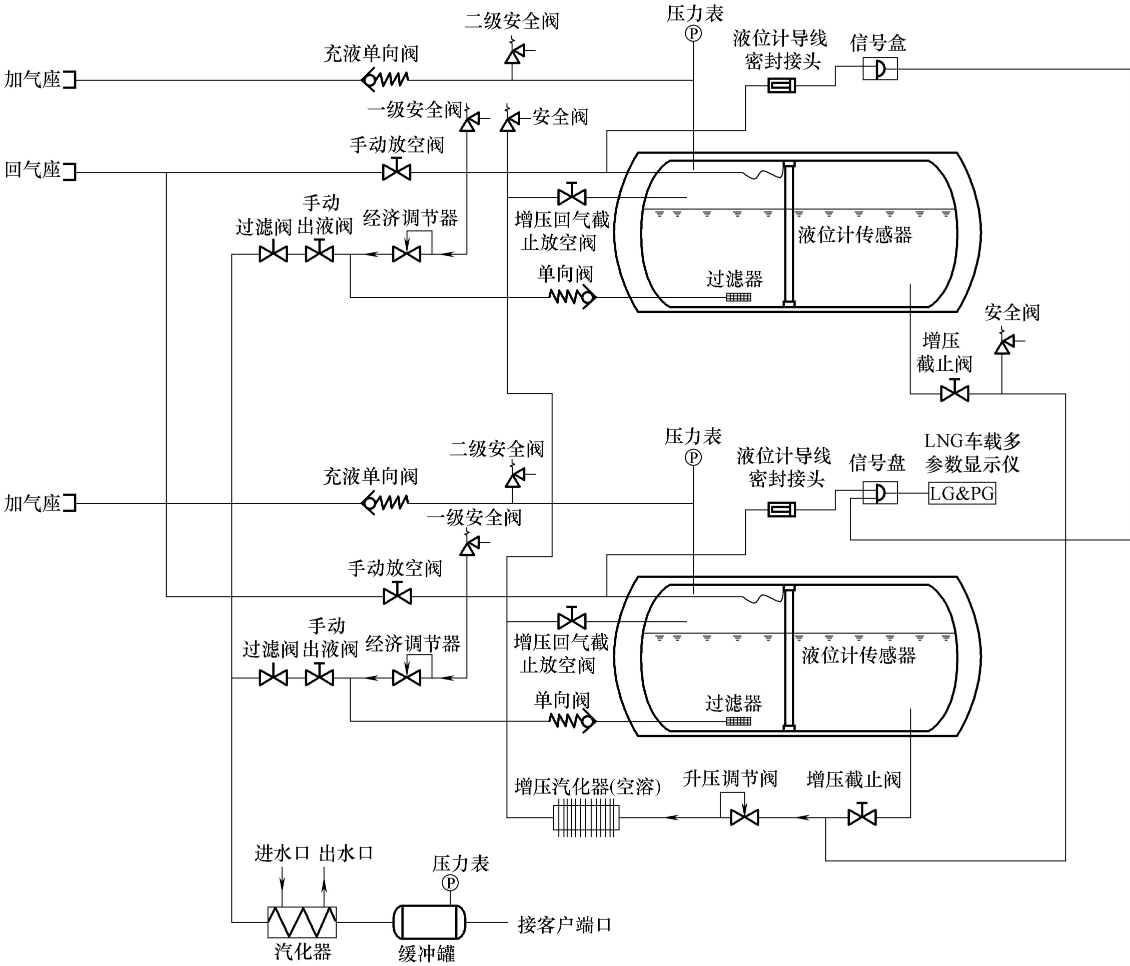


图 6-2　双气瓶供气系统工作原理

目前，国内载货汽车所用 LNG 双后置气瓶、两侧置气瓶均由两单置气瓶所组合而成。表 6-1 是国内某气瓶厂生产的气瓶规格型号。目前国内气瓶的主要参数、外形尺寸已经标准化，不同气瓶厂生产的气瓶，只是在阀门的配置、内部结构上，由于不同的生产工艺而略有差异。

表 6-1　气瓶规格、型号

型号	外形尺寸(长×直径)/mm×mm	公称容积/L	有效容积/L	净质量/kg	最大充液质量/kg	安全阀泄放压力/MPa	蒸发率(%)/日
QLVT-200	1554×506	200	184	112	77	1.59	2.3
QLVT-245	1835×506	245	225	131	94	1.59	2.255
QLVT-275	2040×506	275	253	145	106	1.59	2.225
QLVT-300	2196×506	300	276	156	115	1.59	2.2
QLVT-330	2385×506	330	303	169	127	1.59	2.18
QLVT-350	1585×656	350	322	172	135	1.59	2.166

（续）

型号	外形尺寸(长×直径)/mm×mm	公称容积/L	有效容积/L	净质量/kg	最大充液质量/kg	安全阀泄放压力/MPa	蒸发率(%)/日
QLVT-380	1691×656	380	349	183	146	1.59	2.146
QLVT-400	1762×656	400	368	191	154	1.59	2.133
QLVT-450	1939×656	450	414	209	173	1.59	2.1
QLVT-495	2097×656	495	455	226	191	1.59	2.01

第一节　管路的安装、布置

为了保证车用 LNG 气瓶在运输、使用中的安全性，气瓶及其管路的安装布置必须遵循安全要求，对气瓶支架的强度、气瓶管路的固定、放空管口的方向都必须做到安装可靠。

气瓶的安装应布置合理，排列整齐。气瓶安装后，气瓶与汽车外轮廓边缘的距离应大于200mm。LNG 气瓶安装在汽车车架上时，LNG 气瓶下方和后方应采取有效防护措施，且 LNG 气瓶及其附件不得布置在汽车前轴之前。

LNG 气瓶安装紧固后，气瓶支架在上、下、左、右、前、后六个方向上应能承受 8 倍于充满额定工作压力天然气气瓶重力的静力，在承受 8 倍于充满额定工作压力天然气气瓶重力的静力负载下，LNG 气瓶与固定支架最大位移量不得超过 13mm。

压缩天然气管路应采用不锈钢管，或者其他车用天然气专用管路，使用中不能随意改动天然气管路。

LNG 气瓶可靠地固定在车架上，安装 LNG 气瓶的固定支架应具有阻止 LNG 气瓶旋转、移动的能力，固定支架应便于拆装维修工作。LNG 气瓶安装在车架上后，LNG 气瓶及车架（车身）应有足够的强度和刚度。

气瓶及其所有管路和接头，应与发动机排气管和传动轴的任何部位均保持足够的间距（≥75mm），以防止传动轴旋转时损伤气瓶及其所有管路和接头。当气瓶及其所有管路和接头与发动机排气管的距离在 75～200mm 时，根据排气管部位的温度情况，应设置固定可靠的隔热装置。

LNG 气瓶安装应保持通风良好或采取有效的通风措施，若气瓶框架采用外蒙皮，则在外蒙皮上应开有散热百叶窗。

排空管口应安装在驾驶室顶部，或者指向车尾，并与地面成 45°圆锥的范围内。排空管口应能将泄漏气体排出车外，通气接口至排气管和其他热源距离应大于等于 250mm，通气总面积应大于等于 450mm^2。

气瓶安装和气瓶支架的防护装置设置，应能保证气瓶集成阀的正常操作和检查。

气瓶管路的特殊部位（如相对移动的部件之间）应采用柔性管线，其余部位应采用刚性管线。

刚性管路应排列整齐、布置合理、固定有效，不得与相邻部件碰撞和摩擦，所有管路和管接头应得到有效的保护，管接头应安装在能看得见且操作者易于接近的位置。

气体燃料汽车应安装泄漏报警装置，所有管路接头处均不应出现漏气现象。

供气管道的走向应合理，管道成形时，要尽量避免出现直角 90°折弯，以减少气体流动的阻力。同时装配管道的管夹应具有耐低温要求，低温管道尽量不与车架或者其他金属零件（碳钢）相接触，以防止因低温造成其他零件脆断。在低温管道外径上缠绕一层隔热材料，可以起到隔热、保温的作用，同时还能避免低温管道对其他零件的影响。

若采用刚性管道，在两管道的连接之间，管道必须做成“S”形、“O”形或者“U”形，以消除热胀冷缩和汽车行驶中产生的振动影响。刚性管道成形时，为了保证管路流动阻力不大，管路中心弯曲率半径不得小于管路外径的 5 倍。

螺纹管路连接时，为避免因螺纹密封不良而出现漏气，应当在螺纹部分缠绕耐低温生料带，耐低温度要求为≤－220℃。不能采用普通管路所用生料带，普通管路所用生料带在低温下会形成脆性，生料带变成粉末而不能起到填充密封作用。缠绕生料带时，应当避免生料带细屑残留在管道内，否则会堵塞燃气喷嘴，对供气系统造成严重的影响。

采用卡套式密封接头时，管端应无椭圆、凹出、划伤等表面缺陷，应将管端 30mm 左右长度的表面进行打光处理，否则可能会造成密封不良现象。装配天然气管道时，天然气管道内不得进入金属粉屑，避免堵塞喷嘴孔。

注意：装配天然气管道时，不得有水进入气管内，否则气管会出现冰堵现象。

第二节　单后置气瓶

LNG 载货汽车配置单后置气瓶的布置如图 6-3 所示。单后置气瓶就是一支气瓶装在驾驶室后面，常用于牵引载货汽车。牵引载货汽车驾驶室与鞍座之间有一空间可用来装 LNG 气瓶，这样就能充分利用汽车的空间位置，而无需占用汽车的整体布置空间，有利于汽车结构设计紧凑，而且驾驶室还能起到气瓶防碰撞作用。



图 6-3　LNG 载货汽车单后置气瓶布置

一般牵引载货汽车 LNG 单气瓶都设置在驾驶室与鞍座之间。

无论气瓶的布置形式如何，气瓶的控制系统原理均相同。气瓶的供气原理如图 6-1 所示，也是由汽化器将 LNG 转化成气态天然气后进行混合燃烧。供气系统的压力调整、汽车行驶中气体的补充（缓冲罐）、气瓶内压力控制（经济控制阀、放空阀）以及增压装置设置等均与单侧置气瓶相同，不同的只是气瓶与各种控制阀门的连接管路变化较大。

气瓶容积大小的选用，可根据 LNG 载货汽车行驶距离的长短、运输过程至加气站的位置，参考表 6-1 选择。一般重型牵引汽车所需气瓶的容积在 400～495L，标准满载货物续驶里程为 340～430km。

气瓶装配时，应当注意当气瓶压力升高时，由于气瓶内的气体压力需要泄放，气瓶排空管口的引气管所排出的气体，不要对着发动机消声器，以避免发动机消声器排出的火星点燃

气瓶放空排出的天然气体。

气瓶安装时，应在气瓶支架与车架之间垫上减振的橡胶垫，橡胶垫的宽度不能小于气瓶支架与车架固定的接合面，厚度不能小于5mm，以保证能有效地防止 LNG 载货汽车行驶中对气瓶的振动，降低冲击负荷。

气瓶支架安装在车架上应具有防止振动、松动、旋转和滑移的功能。

由于后置载货汽车行驶过程中产生的风力会将排空气体吹向后面，所以，安装时，应从排空管口设置引气管至驾驶室顶或者引向车尾部，以保证排空的可燃气体远离发动机排气管消声器，从而避免火灾的发生。

LNG 气瓶布置在驾驶室后面时，应注意不得影响挂车的转弯，防止汽车转弯时挂车与气瓶相碰擦。

第三节　双后置气瓶

LNG 载货汽车配置双后置气瓶的布置如图 6-4 所示。双后置气瓶就是两支气瓶分两层叠加装在驾驶室后面，常用于牵引载货汽车。牵引载货汽车驾驶室与鞍座之间有一空间可用来安装 LNG 气瓶，这样就能充分利用汽车的空间位置，而无需占用汽车的整体布置空间，有利于汽车结构设计紧凑。双后置气瓶在整车上所占用的空间与单后置气瓶相同，因此，具有比单后置气瓶结构更加紧凑的优异性。



图 6-4　LNG 载货汽车双后置气瓶布置

一般牵引载货汽车 LNG 双气瓶都设置在驾驶室与鞍座之间。

双后置气瓶的控制系统与单后置气瓶控制系统原理相同。汽化器将 LNG 转化成气态天然气的过程、供气系统的压力调整、汽车行驶中气体的补充（缓冲罐）、气瓶内压力控制（经济控制阀、放空阀）以及增压装置设置等均相同，所不同的只是气瓶框架，且其余各种控制阀为两套，连接管路为并联式，如图 6-2 所示。

双后置气瓶主要用于续驶里程较远的牵引载货汽车，配上两支 495L 或者 450L 的气瓶，标准满载货物续驶里程可达到 750～780km。

双后置气瓶采用并联连接方式，LNG 载货汽车可以分别打开一个气瓶使用，待一个气瓶里的 LNG 用完后，再使用另外一个气瓶里的 LNG。也可以同时打开两个气瓶，根据气瓶里气体的压力高低使用 LNG，以维持两个气瓶的压力相同。

为方便补加 LNG，两套加液组件都布置在气瓶仪表板上，仪表板装在下气瓶支座上，如图 6-2 所示。也可用一套加液组件，串联连接方式。两种加液组件均是分别对两支气瓶逐个加气。

为了便于观察两个气瓶的压力，两个气瓶的两支压力表均设置在下气瓶仪表板上，

气瓶及其管路的安装，在通风、防火、防振动和防滑动等功能要求上与单置气瓶相同。

气瓶装配时，应当注意当气瓶压力升高时，由于气瓶内的气体压力需要泄放，气瓶排空管口的引气管口不要对着发动机消声器，以避免发动机消声器排出的火星点燃气瓶放空排出的天然气体。

由于后置载货汽车行驶过程中产生的风力会将排空气体吹向车尾，所以双后置气瓶安装时，同样应从排空管口设置引气管至驾驶室顶或者引向车尾部，以保证排空的可燃气体远离发动机排气管消声器，从而避免火灾的发生。

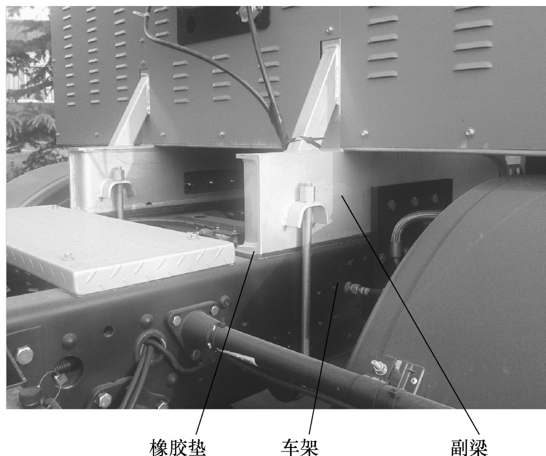


图 6-5　气瓶减振橡胶垫

LNG 气瓶布置在驾驶室后面时，应注意不得影响挂车的转弯，防止汽车转弯时挂车与气瓶相碰擦。

气瓶支架与气瓶组合在一起，支撑固定在汽车车架纵梁上，气瓶支架与车架之间装有橡胶垫，用螺栓将气瓶支架与车架紧固在一起，如图 6-5 所示。

为了避免气瓶、气瓶控制阀门、气瓶管路被高温暴晒、雨水锈蚀，气瓶支架外面装有外蒙皮，外蒙皮上开有百叶窗口，如图 6-4 所示，以保持气瓶周围空气流通，气瓶周围的热量能迅速散走。

第四节　单侧置气瓶

LNG 载货汽车配置单侧置气瓶的布置如图 6-6 所示。单侧置气瓶就是一支气瓶装在 LNG 载货汽车侧面，这样可尽可能提高载货汽车货厢的利用率。

一般载货汽车 LNG 单气瓶都设置在汽车的右侧面。

单气瓶主要用于续驶里程不是很远的载货汽车，配上一支 495L 或者 450L 的气瓶，标准满载货物续驶里程可达到 360～400km。



图 6-6　LNG 载货汽车单侧置气瓶布置

自卸载货汽车、水泥搅拌汽车常常采用单侧置气瓶的布置方式，将 LNG 气瓶布置在汽车的右侧面。LNG 气瓶布置在汽车的右侧，虽然节省了货厢的装配空间，但是又占去了整车的布置空间，而且由于 LNG 气瓶较长，所以侧置气瓶往往用于前后轴距较大的载货汽车。同时，侧置气瓶的安全防护也必须设置可

靠，以防止气瓶被碰撞。

对于轴距较小的 LNG 载货汽车，则只能选择容积较小、气瓶长度较短的气瓶，这样就减小了汽车的续驶里程。对于≤3200mm 轴距的载货汽车，则只能配置总长度短于 1700mm 左右的气瓶。

为了保证气瓶的安全性，使气瓶在行驶中即使出现漏气，也能充分利用汽车行驶中的空气流动来散去漏出的可燃气体，避免因漏气而出现着火燃烧的隐患，所以侧置气瓶的控制阀门都朝向后方，如图 6-6 所示。

LNG 载货汽车配置单侧置气瓶采取托架（V 形块）安装、托架（V 形块）定位，如图 6-7 所示。气瓶托架与气瓶组合在一起，紧固在汽车车架纵梁侧面上，气瓶托架与气瓶之间装有橡胶垫，用箍带将气瓶与气瓶托架紧固在一起。

气瓶箍带与托架（V 形块）能有效地防止气瓶径向滚动，橡胶垫则能防止气瓶在托架上轴向滑动、位移。托架（V 形块）、橡胶垫、气瓶箍带用紧固连接销组合在一起，将气瓶安全可靠地固定在气瓶托架（V 形块）上，再用螺栓将气瓶托架（V 形块）与汽车车架紧固连接在一起，如图 6-8 所示。

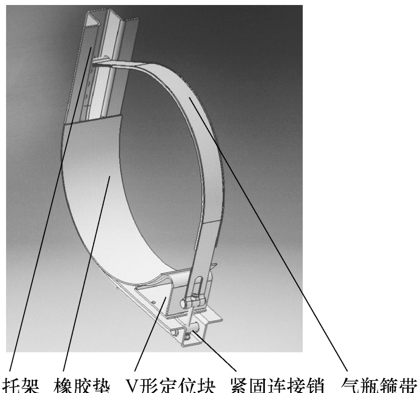


图 6-7　LNG 载货汽车单侧置气瓶支架总成



图 6-8　LNG 载货汽车单侧置气瓶支架

1—气瓶各种控制阀门　2—气瓶端盖　3—气瓶压力表　4—缓冲罐压力表　5—加液组件
6—放空组件　7—拉带螺栓组件　8—气瓶托架 V 形定位块　9—气瓶箍带

单侧置气瓶的控制系统与单后置气瓶控制系统原理相同，如图 6-1 所示。单侧置气瓶的汽化器、缓冲罐组件装在车架内侧，气瓶内压力控制（经济控制阀、放空阀）、增压装置设置等均相同，所不同的只是气瓶支架、各种控制阀的安装位置不同，连接管路的走向变化较大，同时，汽化器与缓冲罐的安装方式也不相同。单侧置气瓶汽化器与缓冲罐的安装如图 6-9 所示。

安装单侧气瓶的控制仪表、加液组件设置在气瓶的后端，为方便补加液化气，加液组件、放空组件布置在气瓶外壳圆周上。为防止 LNG 载货汽车与其他汽车或者障碍物相碰撞时碰坏加液组件、放空组件，在气瓶布置时，将加液组件、放空组件布置在气瓶的斜上方，两支压力表也布置在同样地方，以便于观察气瓶和缓冲罐的压力，如图 6-8 所示。

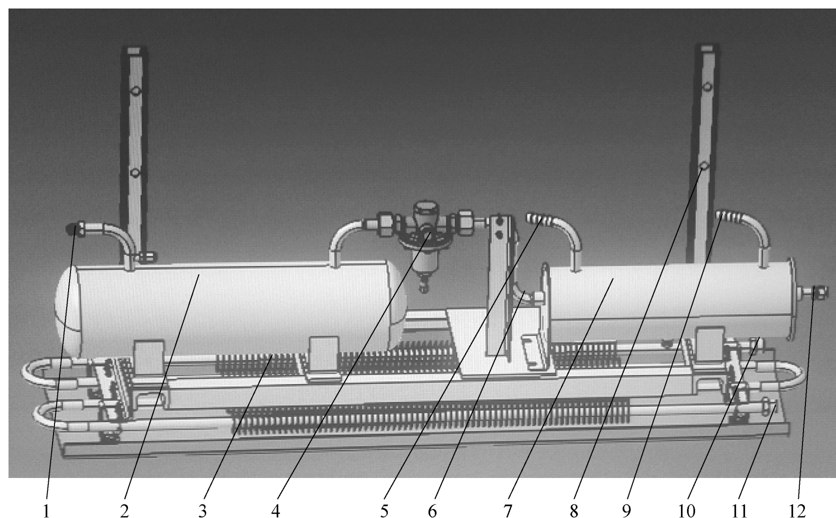


图 6-9　单侧置气瓶汽化器、缓冲罐

1—缓冲罐出气口　2—缓冲罐　3—自增压器　4—稳压器　5—汽化器出水管　6—汽化器出气管　7—汽化器　8—支架　9—汽化器进水管　10—自增压器出气管　11—自增压器进气管　12—汽化器进液管

单侧气瓶及其管路的安装，在通风、防火、防振动和防滑动等功能要求上与单后置气瓶要求相同。

气瓶装配时，应当注意当气瓶压力升高时，由于气瓶内的气体压力需要泄放，气瓶排空管口的引气管口应接到汽车的驾驶室顶或者汽车尾部，不要对着发动机消声器，以避免发动机消声器排出的火星点燃气瓶放空排出的天然气体。由于汽车行驶过程中产生的风力会将排空气体吹向后面，所以，即使气瓶排空放出气体，也会随着汽车行驶中的流动空气很快稀释，不会形成燃烧、爆炸的气体密度。

LNG 气瓶布置在汽车的右侧，应注意行驶中不得使障碍物擦挂气瓶，防止汽车超车时气瓶被擦碰。

为了提高气瓶的配置范围，满足于不同类车型的配置需要，目前有的 LNG 气瓶厂设计气瓶时，在保证气瓶容积不变的情况下，采用减小气瓶长度、增加气瓶直径的结构形式，这种结构的气瓶适用于对于总宽度不受限制的车型，如 LNG 码头牵引汽车。

第五节　双侧置气瓶

LNG 载货汽车配置双侧置气瓶的布置如图6-10所示。双侧置气瓶就是一支气瓶装在 LNG 汽车左侧面，另一支气瓶装在 LNG 汽车右侧面，这样尽可能提高载货汽车货厢的利用率。双侧置气瓶主要用于续驶里程较远的牵引载货汽车，配上两支495L 或者两支450L 的气瓶，标准满载货物续驶里程可达到750～780km。



图 6-10　LNG 载货汽车双侧置气瓶布置

一般载货汽车 LNG 双侧置气瓶都布置在载货汽车的左右两侧面。

为了提高 LNG 载货汽车续驶里程，LNG 载货汽车常常采用双侧置气瓶的布置方式。牵引汽车方便将双气瓶布置在驾驶室后，但载货汽车却通常将气瓶左右对称布置在汽车的左右两侧面，而且由于气瓶较长，所以侧置气瓶往往用于前、后轴距较大的牵引载货汽车。

对于轴距较小的载货汽车，则只能选择容积较小、气瓶长度较短的气瓶，这样就减小了汽车的续驶里程。对于轴距≤3200mm 的载货汽车，则只能配置总长度小于1700mm 的气瓶。

LNG 车用气瓶的容积是选择匹配 LNG 气瓶的主要参数。气瓶的容积越大，气瓶的体积就越大，就会造成 LNG 载货汽车的自重增加。除了气瓶的容积外，LNG 车用气瓶选用还与加气站的距离、LNG 载货汽车运行工作环境要求有关。在选用 LNG 气瓶时，应根据运载续驶里程，本着满足运行情况的前提，尽可能选择小容积气瓶，以减小汽车自重，提高运载能力，降低燃气消耗，提高 LNG 载货汽车的运营经济性。

车载气瓶选用的主要原则：

1）根据 LNG 载货汽车的运载续驶里程来选择气瓶的容积、安装外形体积。容积越大，汽车运载续驶里程越远。在 LNG 载货汽车总布置允许的情况下，尽可能选用有效容积大的气瓶。常选用双气瓶以提高运载续驶里程，如图 6-4、图 6-10 所示。

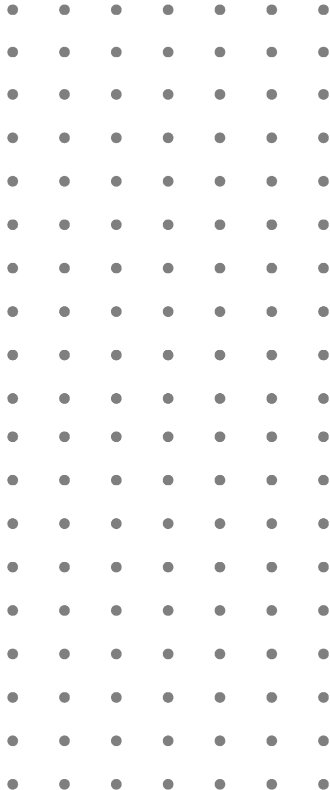
2）根据 LNG 载货汽车行驶距 LNG 加气站的距离来选择气瓶的容积。若 LNG 加气站距离较远，行驶至 LNG 加气站会消耗部分 LNG，则有效运载续驶里程就相对较短。此时，虽然理论运载续驶里程较大，但实际运载续驶里程则较短，这也是选用大容积气瓶的原因之

一。常选用双气瓶以提高运载续驶里程。

3）根据 LNG 载货汽车运行工作环境来选择气瓶的容积。如 LNG 码头牵引汽车属于码头专用汽车，不能在公路上运输行驶，因此在码头内设置了 LNG 加气站，这样就可以缩短充加 LNG 的行驶距离，大大提高了有效运载续驶里程，因此可以选用较小容积的气瓶以减小汽车自重，提高运载能力。LNG 码头牵引汽车常选用较小容积的单侧气瓶（气瓶容积 280L），如图 6-11 所示 。



图 6-11　LNG 码头牵引载货汽车单侧置气瓶

下篇

LNG 载货汽车使用、保养及故障维修方法



只有熟悉 LNG 载货汽车的特点、性能、操作步骤和安全防护，了解 LNG 载货汽车的基本特性、结构及工作原理，才能正确使用、维护和保养 LNG 载货汽车，准确分析、判别和及时处理好 LNG 载货汽车的故障。本篇着重介绍分析 LNG 载货汽车故障的基本方法、思路，以及使用、保养 LNG 载货汽车的一些基本知识。

第七章 LNG载货汽车行车检查及维护保养



要保证LNG载货汽车正常行驶，每次行车前，都必须检查汽车各部位零部件是否正常，各附件是否连接可靠，发动机有无漏水、漏气现象，机油压力是否正常，机油储量是否在机油标尺刻度要求范围之内，并按规定加足发动机冷却液，汽车的制动空气压力也必须满足汽车制动要求。在上述条件正常的情况下，还必须确保LNG载货汽车供气控制系统各种性能、参数正常后，LNG载货汽车才能起动运行。

第一节 LNG载货汽车行驶前检查

LNG汽车行驶前，LNG气瓶、各种控制阀门、压力表必须处于正常状况，一级安全阀、二级安全阀启跳良好，且气瓶、阀门、压力表均在校验使用有效期范围之内，如图7-1所示，这点非常重要。而各种控制阀门、压力表处于正常状况，是LNG载货汽车正常行驶的必需条件。

行车前必须检查下列内容，若发现有异常现象，在排除故障后才能运行LNG载货汽车。

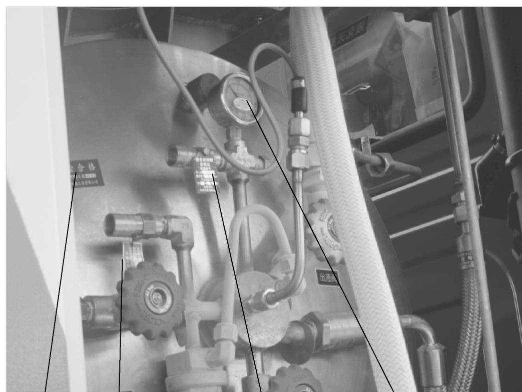


图7-1　气瓶、安全阀、气瓶压力表有效期

一、基本常规检查

检查机油压力表、冷却液温度表、警告指示灯和其他仪表是否正常。

检查气瓶、支架、管路、仪表和各种阀门等的固定情况，检查气路、各种接头有无漏气现象，检查 LNG 发动机机油是否变质。

（1）电器检查　检查高压线及其他电气插接件有无松动脱落现象。

（2）检查 LNG 载货汽车液化气储量　接通电源，打开点火开关，不要起动发动机，这时仪表板的液位显示器仪表上会显示气瓶的液化气储量。按 LNG 载货汽车耗气量，计算、判别气瓶储气量能否满足 LNG 载货汽车运行里程。

要保证 LNG 载货汽车的正常行驶，行车前必须对 LNG 载货汽车进行例行检查。检查内容除了与柴油载货汽车相同的基本检查外，还应根据 LNG 载货汽车的特点，对 LNG 载货汽车进行常规检查，才能确保 LNG 载货汽车的正常行驶，动力性得到充分发挥。

二、LNG 载货汽车的运行

1）采取低档位起步，在避免汽车起动时受到较大机械冲击的同时，又能降低燃气消耗。

2）LNG 发动机在低于最大转矩转速下，加速踏板踩到底的持续运转时间不应超过 1min，以避免因为混合气过浓而产生爆燃。

3）经常观察机油压力表及冷却液温度表，若有异常应停车检查。

4）机油压力（WP10NG336E40 发动机）：怠速时最低机油压力应不低于 100kPa，高速时机油压力在 350 ~ 550kPa。

5）若 LNG 发动机冷却液长时间在低于 60℃ 或者高于 100℃ 温度状况下工作，将会对 LNG 发动机造成很大的损害。若 LNG 发动机冷却液温度过高，则应降低发动机转速、降低档位或者二者同时进行，直到 LNG 发动机冷却液温度处于正常工作温度范围内。

6）在 LNG 载货汽车下陡坡时，必须利用变速器档位和制动器同时控制汽车速度和发动机转速。在挂档冲坡时，变速器的档位必须与汽车冲坡时的速度相适应，当汽车冲坡速度较大时，变速器应挂在较高档位，以防止汽车冲坡时倒拖 LNG 发动机，造成发动机超速运行。

注意：LNG 发动机严禁超速运行（LNG 发动机转速超过最高空车转速），这将会损坏 LNG 发动机。

7）LNG 载货汽车靠右行驶时，要注意气瓶与路边行道树及其障碍物的距离，防止行道树及其障碍物擦挂气瓶和供气系统管路。

8）当 LNG 载货汽车路过积水路面时，要注意避免电控系统因为进水而受到损害和失效，一般要求电气系统控制元件距水面距离应当超过 200mm，且在水面接近此高度时，LNG 载货汽车的行驶速度不得大于 10km/h，在过积水时 LNG 载货汽车应当减速慢行通过。

行车途中，要随时观察 LNG 气瓶、阀门、压力表正常与否，一旦出现非正常情况，应及时排除故障。

三、LNG 供气系统检查

（1）气瓶的压力检查　气瓶的工作压力应保证满足发动机供气系统压力要求。国内重型载货汽车气瓶的最小工作压力为 0.86MPa，气瓶的最大工作压力为 1.59 ~ 1.75MPa（不同的气瓶生产厂设定的一级安全阀限定压力有差异）。若气瓶的工作压力低于 0.86MPa，会出现供气不足、动力性下降、催化器烧结等现象。

若 LNG 载货汽车未行驶，气瓶的最大工作压力高于 1.59～1.75MPa，则表明一级安全阀失效。此时就需更换一级安全阀。

若气瓶长期处于安全阀的限定压力上限 1.59～1.75MPa（不同的气瓶，安全阀开启压力不同），则会出现电磁阀开启不正常、LNG 载货汽车不能正常起动或者行驶中出现动力不足现象。

（2）LNG 阀门检查

1）阀门的正常工作要求：阀门应开启、关闭灵活，不得有卡滞现象，应能满足阀门全开启行程，不得有漏气现象。

2）检查阀门：分别将阀门缓慢、平稳地顺时针开到最大，再逆时针回转半圈，同时观察阀门有无漏气、卡滞，观察管路、接头有无漏气现象。

待一切正常后，汽车才可正式运行行驶，开关阀门时，不可面对阀门，以免阀门伤人，也不能太用力以免损伤阀门。

（3）LNG 压力表检查　压力表的测量精度必须能准确地反映气瓶的真实压力，才能保证 LNG 载货汽车正常运行。若压力表失效，就无法了解 LNG 载货汽车的压力是否正常，导致 LNG 载货汽车在压力过高或者过低的情况下工作，造成汽车动力不足、耗气量高的现象。

1）压力表有效期：压力表必须是经过计量部门校验合格并打上铅封，在校验有效期的压力表或有出厂合格证明的压力表。

2）压力表应保持洁净，表盘上的玻璃应明亮清晰，表盘内指针指示的压力值应清楚易见，表盘玻璃破碎或表盘刻度模糊不清的压力表应停止使用。

3）压力表接头应无泄漏，检查压力表能否回零。

4）压力表不能粘滞油垢或其他粘性物质。

5）检查压力表指针的转动与波动是否正常。

待一切正常后汽车才可正式运行行驶。

（4）密封检查　LNG 载货汽车正常运行的条件之一，是绝不能出现泄漏。若出现泄漏必须立即停车维修，在排除泄漏后，汽车才能运行。

泄漏常用的检查方法有如下几种：

1）观察随车安装的漏气报警器，对 LNG 载货汽车供气系统的天然气安装阀门、管路泄漏点进行检查。

2）用便携式甲烷探测器对 LNG 载货汽车供气系统的天然气安装阀门、管路泄漏点进行检查。

3）用肥皂液对 LNG 载货汽车供气系统的天然气安装阀门、管路泄漏点进行检查。

在完成上述检查，消除故障隐患后（尤其是供气系统不能存在任何故障），LNG 载货汽车方能起动运行。

第二节　LNG 载货汽车起动

一、起动前操作规范

当汽车起动时，将出液截止阀慢慢开启到 1/4 圈（开启速度过快会将出液过流阀堵死，

无法出液)，如图 7-2 所示。当听到有液体流过的声音时，再查看气路（缓冲罐）上的压力表，待气路压力与气瓶压力相等后，再将出液阀完全打开，然后回拧 1 圈，使阀门左右旋转自如。

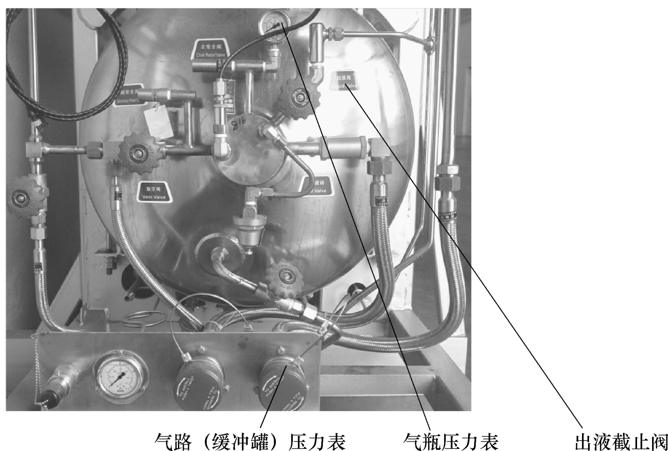


图 7-2　出液阀阀门操作

当环境温度低于 0℃时，起动后必须让发动机在不高于 1000r/min 转速下热车，当冷却液温度达到 60℃以上才能高速行车。否则由于冷却液温度过低，车用汽化器的汽化能力不足，LNG 汽化不充分，导致发动机熄火，甚至会冻坏低压燃气滤清器产生泄漏，严重时燃气喷到高温物体表面会导致火灾。

注意：当发现汽化器表面有结霜现象时，应当立即停止使用，这很可能是因为冷却液温度过低，汽化能力不足造成的。应当等待一段时间后重新起动，然后怠速热车，待冷却液温度达到 60℃以上再高速行车。

二、常温起动

LNG 载货汽车起动前，将变速器处于空档位置，先接通电源检查仪表参数是否正常，然后起动发动机怠速运行几秒钟，观察仪表显示参数正常后，汽车才可起步运行。

起动时间不能超过 10s，每次起动间隔时间应大于 30s，一次不能起动，可连续起动两次，起动间隔时间不得少于 2min。如果连续三次不能正常起动，则应检查燃料供气系统以及电路系统有无故障。每次起动后不能猛踩加速踏板，应怠速运行 1 ~3min 后，才能逐渐提速起步。

若 15s 内还没有起动，低压电磁阀将自动关闭。再次起动发动机，低压电磁阀将随之自动打开，以保证 LNG 发动机的正常起动。

发动机起动后，应在怠速下运行 3 ~5min 后，再缓慢提高发动机的转速，以确保发动机涡轮增压器等高速旋转运动零部件获得足够的润滑。待发动机机油压力稳定在发动机要求之内，发动机的冷却液温度提高，LNG 汽化能力增强，能满足 LNG 发动机的燃烧需要后，再逐渐增加发动机的负荷和转速。待 LNG 发动机的冷却液温度、机油压力和天然气供气压力完全正常后，方可进行全速、全负荷运行。

当发动机怠速运行一段时间后停车关机，再起动发动机时不要长时间怠速运行，以稳定

LNG 的汽化能力，保证发动机所需的供气量。

三、低温起动

由于 LNG 汽化成气态天然气后，气态天然气属于易燃气体，而燃料又是在进气系统混合器内混合，因此不能在进气系统内安装进气加热器对气态天然气进行加热。在寒冷地区起动发动机时，可能会导致天然气管路结冰，因此，LNG 发动机起动后应在中、低速状况下运行，或者在低速小负荷状况下运行一段时间，将发动机冷却液温度上升至 60℃以上，利用发动机冷却液的热交换能量提高天然气温度，避免天然气管路结冰。

第三节　LNG 载货汽车行车中检查

LNG 汽车在行车过程中，要随时观察仪表板上显示的 LNG 汽车的运行情况。除了汽车机油压力、冷却液温度、制动空气压力以及在汽车运行中产生的机械运动响声以外，同时还要密切注意气瓶压力是否正常、液位显示器上显示的 LNG 气体储量等情况，并观察有无故障码等不正常情况。

一、注意事项

1）检查燃气压力是否符合 LNG 汽车供气系统的要求。

2）检查气瓶及其管接头是否出现结霜或凝水情况。LNG 载货汽车在行驶中，由于 LNG 的低温传导、散热作用，气瓶上的出液管路、增压管路、经济调压管路在工作时会有霜或结冰，这是正常现象，如图 7-3 所示。但接头处不能冒白烟。若气瓶瓶体外表有结霜或冒白烟现象，就可能存在泄漏，应当马上停车通知专业人员前来检修。

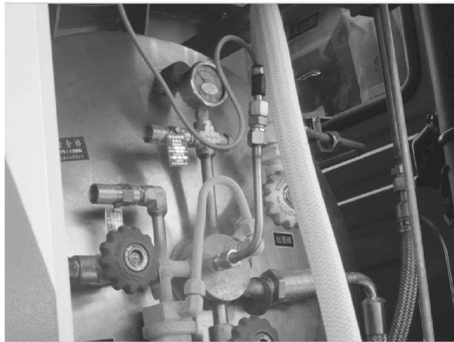


图 7-3　气瓶阀门结冰

3）汽车行驶中，发动机冷却液温度正常时，减压器不会出现结霜冰堵现象。在寒冷的工作环境温度时，减压器外表可能附着一层薄霜，但不会影响 LNG 载货汽车正常工作。

4）汽车行驶中，若因供气管路破裂、卡套松脱等故障导致 LNG 气体大量泄漏时（液化气流量加大），气瓶过流阀会自动关闭供液化气通路，防止 LNG 气体大量泄漏，此时应立即停车，关闭所有供气管路截止阀门，排除故障。过流保护阀如图 7-4 所示。

5）行车中应随时观察各仪表（开关）的工作情况，注意观察、聆听涉及气路的异响，尽可能选择良好的路面行驶，防止路面飞溅石块对供气系统形成的撞击。汽车运行时，若发现气体泄漏或者出现较大声音的噪声，当感觉到有异常现象时，应立即停车检查，确认安全后才能继续运行。

6）汽车在运行过程中，由于汽车的行驶晃动，会造成气瓶瓶内液面波动，所显示的液位比实际液位稍低，但随着汽车的晃动趋缓，液位显示就会正常。

7）发生火灾时，应用灭火器扑灭火势，而不能用水扑灭。用水喷向 LNG，会引起天然气的大量蒸发，反而进一步加大火势。



图 7-4　过流保护阀

二、发动机的磨合

1）LNG 载货汽车在投入运行初期，行程 2000km（运行时间约 40h）内，应限制 LNG 发动机的转速不得超过发动机标定转速的 80%。

2）载货汽车用 LNG 发动机，在最初的 40h 内，应在 70% 部分负荷下工作，以避免 LNG 发动机因磨合不充分，超负荷运行，造成 LNG 发动机气缸套、活塞、连杆组件早期磨损、拉缸。

三、电气控制系统的注意事项

1）严禁带电插拔电气元件，以免烧坏电控元件。

2）保持电控系统清洁、干燥，严禁用水冲洗 LNG 发动机。如果意外进水，应马上切断电源开关，通知专业维修人员检修，不要自行运行发动机。

进行电焊作业维修时，切记关掉总电源，同时拔下 ECU 上的接插件，以免烧坏 ECU 等电控元件。

第四节　LNG 载货汽车停车

LNG 载货汽车在停止运行前，应逐步减小负荷、缓慢降低发动机转速，将发动机转速降至怠速 650 ~ 750r/min 时，持续运行 3 ~ 5min，才能停车、发动机关闭熄火。若突然减小 LNG 载货汽车负荷、降低发动机转速，骤然停车，因发动机停止转动，机油压力减小或者停止供应机油，而此时发动机的涡轮增压器、曲轴、活塞连杆等运动零部件因为惯性力作用还处于高速旋转状态，造成涡轮增压器、曲轴烧蚀和气缸套与活塞、活塞环拉缸等故障。

一、临时停车

应尽量选择通风、阴凉，远离火源、热源之处停车。

停车时，将发动机熄火，钥匙关闭 10 ~ 15s 后再关闭电气总电源。

二、夜间停车

应尽量选择通风、阴凉，远离火源、热源之处停车。

晚上停车前，应检查供气系统是否正常，有无漏气现象，储气瓶固定装置有无松动现象。

停车后，将发动机熄火，钥匙关闭 10～15s 后再关闭电气总电源，关闭气瓶各截止阀，检查有无漏气现象。

三、特殊气候条件下的停车

冬季停车时间较长时，若未加防冻液而使用自来水，要及时放掉冷却液，以防止冻坏 LNG 发动机及其供气相关零部件。

夏季应尽量选择通风、阴凉处停车，避免阳光暴晒导致气瓶升温、压力过高，而频繁放空排气产生安全隐患。

第五节　LNG 载货汽车的维护保养

汽车在运行中，由于运动件的相互摩擦、磨损、自然腐蚀和零部件老化等原因，技术性能会有所下降。汽车保养是指通过对汽车的维护，保持和恢复汽车的技术性能，保证汽车具有良好的使用性和可靠性，减少和降低汽车的维修费用，同时提高行车的安全性，延长汽车的使用寿命，使汽车在最佳的技术状态下工作。

维护保养的内容：检查零部件的紧固情况，检查水、电、油、气和制动等，通过调整、修理、更换零部件，来保证零部件各部位装配间隙，恢复设计状态，保证水、电、气的品质、储量、压力满足设计要求。

维护保养内容：日常维护保养、一级维护保养、二级维护保养。

一、日常维护保养

日常维护保养是一项长期的工作，由驾驶人在日常停车后或者行车前进行。主要维护保养内容是：紧固松动的零部件，清理零部件表面的油污、泥土、灰尘，补充足够的冷却液和润滑油、润滑脂。同时对汽车的正常运行情况起到安全检查的作用。因此，掌握汽车技术状况和变化规律，合理使用、及时维护汽车，确保汽车的技术状况处于良好状态，是保证汽车正常运行的必备条件。

LNG 发动机，特别是 LNG 电控发动机，比柴油机“娇贵”得多，保养内容也不相同。保养时要做到“定时（保养）、全面（检查）、足额添加（添加机油、润滑脂、冷却液）、不留隐患（彻底排除故障）。

日常维护保养主要在行车前、行车中、行车后进行。

维护保养主要内容如下：

（1）行车前保养

1）检查散热器冷却液质量情况，若出现混浊或者冷却液里有杂质、泥尘时，则必须更换规定牌号的冷却液。检查散热器冷却液储量，不足时添加至规定刻线内。

2）检查发动机机油变质情况，若机油发生变质，呈现出黑、浓现象，或机油中有泥沙、粉末等时，则必须更换规定牌号的机油。检查机油储量，不足时应添加同一牌号机油至机油标尺规定刻线内。

3）检查发动机各传动带的松紧度（挠曲度），视情况进行调整。

4）检查各部位紧固、连接螺栓有无松动现象，视松动情况进行紧固。

5）检查轮胎的气压是否能满足行驶要求，视情况补充轮胎气压。

6）检查气瓶与气瓶框架、气瓶框架与汽车车架（大梁）之间的连接固定是否牢固，紧固螺栓是否松动。

7）检查所有气管的连接处是否漏气，各传感器接头是否有松动现象，必须确保无漏气现象存在。

8）检查气瓶供气系统各手动截止阀的手柄转动是否灵活，发现问题应立即进行修复或者更换手动截止阀。

（2）行车中保养

1）观仪表：观察仪表板上各数据是否正常，同时结合行车中冷却液温度、动力性变化、耗气量变化来判别汽车的正常与否。

2）听声音：听汽车运行时声音有无异常现象，发动机运转时有无异响，同时结合动力性变化、耗气量变化来判别汽车的正常与否。

3）看烟色：看汽车运行时排气管尾部排出的烟色是否正常。

4）闻气味：LNG 汽化后产生的天然气会刺激人体器官，因此一旦发现有异常现象，就应及时进行处理。

（3）行车后保养

1）清洗汽车外部泥垢，注意不要将水冲溅到发动机电气元件上。

2）由于汽车运行中会产生振动，有的零部件会出现松动、磨损，因此必须对各连接零部件进行检查，尤其是对转向、制动、传动等零部件进行检查，视情况紧固或者更换螺栓、螺母、垫圈等紧固件。

3）停车后检查有没有漏水、漏油、漏气等现象。

4）检查发动机各连接胶管及接头有无松动、脱落、老化等状况。

5）检查电路及其插接件有无松动脱落，防止出现断路、短路、搭铁等现象。

6）运转发动机，聆听发动机有无异响。

7）清除 LNG 控制仪表板上的泥土灰尘，保持 LNG 控制仪表板清洁。

二、一级维护保养

一级保养间隔作业时间根据各车型而确定（LNG 重型载货汽车规定间隔行驶里程为 3000km），由专业维修厂负责进行。其主要作业范围，除了日常维护保养工作外，以清洁、润滑、紧固和补充为主，并检查传动、制动、操纵等安全部件的工作状况。结合行车前、行车中、行车后的三检情况，保持润滑油、空气、燃气滤清器和蓄电池的清洁，防止出现漏水、漏油、漏气和漏电等现象。

1. 一级维护作业项目

（1）发动机　目检有无渗漏（机油、防冻液、燃气及空调系统）。

（2）冷却系统　检查防冻液液面高度及防冻能力，必要时更正并进行压力测试。

（3）机油　更换发动机机油。

（4）发动机润滑　对发动机各部位添加润滑脂。

（5）更换　机油滤清器、空气滤清器、低压燃气滤清器排油（15～30 天排一次油）。

（6）底盘润滑　润滑底盘各润滑点。

（7）转向横拉杆球头节　检查间隙、固定程度及防尘罩、转向助力系统液压泵各接头是否有渗漏现象。

（8）传动轴　检查防尘罩有无损坏。

（9）制动摩擦片　检查摩擦片厚度及磨损情况。

（10）变速器/主传动　轴护套 目检有无渗漏及损坏。

（11）更换　按规定周期更换高压线、火花塞，要求高压线、火花塞三个月更换一次。

2. 一级维护作业竣工验收要求

1）发动机前后悬架、进排气管、散热器、轮胎、传动轴、车身和附件支架等外露螺栓、螺母齐全、紧固、无裂纹。

2）转向臂、转向杆、制动操纵机构等工作可靠，锁销齐全有效，转向杆球头、转向传动十字轴承、传动轴十字轴承无松旷。

3）转向器、变速器、驱动桥的润滑油面，应符合油面加注高度（汽车处于停驶状态），通风孔应畅通，变速器、减速器凸缘螺母应紧固可靠。

4）各润滑脂油嘴齐全有效，安装位置正确，所有润滑点均已按规定润滑、无遗漏。

5）空气滤清器滤芯清洁、无破损。

6）轮胎气压应符合充气压力规定值，轮胎面无嵌石及其他尖锐硬物，车轮轮毂轴承无松旷。

7）离合器踏板和制动踏板自由行程符合汽车技术要求。

8）灯光、仪表、喇叭和信号齐全。

9）蓄电池电解液液面高出极板 10～15mm，通风孔畅通，接头牢固可靠。

10）试车检查，发动机、底盘运行正常、无异响，各操纵部位应符合汽车技术要求，转向、制动系统应灵敏可靠，各部紧固无松动。试车后，检视各部位无漏水、漏油、漏气和漏电等现象。

三、二级维护保养

LNG 重型载货汽车二级维护保养间隔里程为 15000km。二级维护保养是在完成一级维护保养的基础上进行的，必须由专业维修厂负责进行，维护保养内容除完成一级维护保养的内容外，主要以检查、调整为主，并拆检轮胎。

汽车运行使用较长一段的时间后，汽车的安全性、动力性、经济性等各项性能均会有一定程度的降低、减弱，为保证 LNG 重型载货汽车技术性能指标达到正常技术状况和使用要求，在二级维护保养前后，必须对 LNG 重型载货汽车进行性能检测诊断和技术评定。

1. 二级维护前进行的检测诊断项目

1）点火参数：触点闭合角、点火电压、点火提前角。

2）发动机动力性：动力性有无下降、各缸动力均衡性。

3）起动性能参数：起动电流、起动电压。

4）气缸密封：气缸压力、曲轴箱窜气、气缸漏气。

5）配气相位：进排气门开启、关闭角度。

6）发动机异响：曲轴主轴承、连杆轴承、活塞、活塞销和配气机构。

7）机油品质：水分、变质、污染和闪点。

8）发动机三漏：漏油、漏水、漏气。

9）发动机异响。

10）转向系统：转向盘自由行程，转向机工作状况及油封密封情况，路试转向稳定性。

11）传动系统：离合器工作情况、变速器、减速器壳油封密封状况及壳体表面状况，路试时检查变速器、传动轴各轴承、主减速器和差速器有无异响，以及变速器、减速器壳体温度。

12）行驶系统：轮胎偏磨，钢板弹簧座、销、套磨损情况，车架裂伤、各部铆接状况。

13）仪表信号：LNG 储量、气瓶和供气管路压力、机油压力、冷却液温度、制动压力和发电机放电指示。

14）车身、驾驶室及相应钣金件有无开裂、锈蚀、变形和脱漆，检查锁止机构、牵引座等情况。

15）火花塞间隙。

2. 二级维护作业项目

1）进行日常保养和一级保养的全部内容。

2）更换机油滤清器、空气滤清器。

3）检查发电机、起动机，视情况更换电刷和润滑各轴承。

4）检查、紧固进排气管、消声器、催化器总成螺栓、螺母，检查发动机悬置固定支架螺栓、螺母，散热器支架螺栓、螺母。

5）检查、紧固发动机曲轴主轴承、连杆轴承及其紧固螺栓、螺母。

6）检查、紧固变速器、传动轴、万向节和中间支承轴承及各部紧固情况。润滑变速器第一轴承、万向节和中间支承轴承。

7）检查、调整、紧固驻车制动器，前后轮制动器、制动分泵、制动软管。

8）检查、调整转向盘的自由转动量。

9）检查前后减振器及转向节，检查、调整前轮前束。

10）检查轮胎，并进行轮胎换位。

11）检查、调整电喇叭、指示灯、照明灯、变光器及仪表线路插头。

12）更换发动机机油。

13）更换高压线、火花塞（三个月更换）。

14）对低压燃气滤清器排油（15 ~ 30 天排一次油）。

3. 二级维护作业竣工验收要求

1）检视：汽车外部、各总成外部、三滤应清洁。

2）检视：车身面漆、腻子无脱落现象，补漆颜色应与原色基本一致。

3）汽车置平检查：车体应周正，左右对称点离地高度差，驾驶室、保险杠、翼子板不得大于 20 ~ 40mm。

4）检查：轴距左右差不大于 10mm。

5）检查：紧固各总成外部螺栓、螺母，按规定力矩拧紧，锁销齐全可靠。

6）检视：润滑发动机、变速器、转向器和减速器，通气孔应畅通。各部润滑点加注润滑脂符合要求，滑脂嘴齐全有效，安装位置正确。

7）检视：油、水、气无泄漏现象，密封良好，电路装置可靠，不漏电。

8）检查：灯光、信号、仪表、刮水器和后视镜等装置稳固、齐全、有效，符合有关规定。

9）检查：发动机能否正常起动，低、中、高速运转是否均匀、稳定，冷却液温度是否正常（不超过95℃），加速性能是否符合要求，有无断火、回火、放炮等现象。发动机运转稳定后应无异响，但允许有轻微均匀的正时齿轮、气门脚响声。

10）检查：横直拉杆球头销不松旷，各部螺栓、螺母紧固，锁止可靠。

11）路试检查：转向机构操作轻便、转动灵活，无摆振、跑偏异常现象，车轮转到极限位置时，不得与其他部件有碰擦现象。

12）检测前束：前束及最大转向角度。

13）检测侧滑：按规定检查单板侧滑值。

14）路试检查：变速器操纵灵活，不跳档，不乱档。变速器传动轴、主减速器各部无异响，传动轴装配正确。

15）检查：轮胎气压符合规定，后轮辋孔与制动鼓观察孔对齐。

16）检查：钢板弹簧无断裂、无位移、无缺片，U 形螺栓紧固，前后钢板支架无裂纹及变形。

17）路试检查：减振器稳固有效。

18）检查：车架不变形，纵横梁无裂纹，铆钉无松动，拖车钩、备胎架齐全，无裂损变形，连接牢固。

19）检查：制动踏板自由行程符合要求。

20）检查：滑行距离符合要求。

21）检查：驾驶室紧固牢固，满足使用性能要求。

22）检视：车厢不歪斜，整体不变形，底板无破洞翘曲，边板、后门平整无严重变形，铰链完好，关闭严密，前后锁扣作用可靠。

23）高压线、火花塞点火正常。

24）低压燃气滤清器清洁（三个月更换一次滤芯）。

25）气瓶、各种阀门、接头和卡箍应无松动。

26）气瓶、各种阀门、接头应无泄漏。

LNG 重型载货汽车的例行保养，除分为日常维护保养、一级维护保养、二级维护保养外，其余维护保养内容，常常以 10000～15000km 为一个保养间隔周期，以二级维护保养内容为维护保养要求重复进行。

第六节　涡轮增压器的保养

LNG 汽车采用水冷涡轮增压器，解决了涡轮增压器由于高温造成的机油氧化结焦、油膜破裂等问题，延长了增压器的正常使用寿命。

涡轮增压器是一种高速旋转、制造精度非常精密的零部件，如图 7-5 所示。涡轮增压器属于高温零部件，它通过发动机所排放出来的燃烧废气推动涡轮运转，然后通过涡轮驱动与

它在同一个连接轴上的叶轮，不断向发动机气缸内压入新鲜空气，以增加发动机气缸在单位时间内进入的空气量，从而提高发动机工作效率。驱动涡轮旋转运动的气体来自发动机气缸内排出的燃烧废气，温度高达600～700℃，而在全负荷状态下，涡轮的转速可达18～20万r/min。

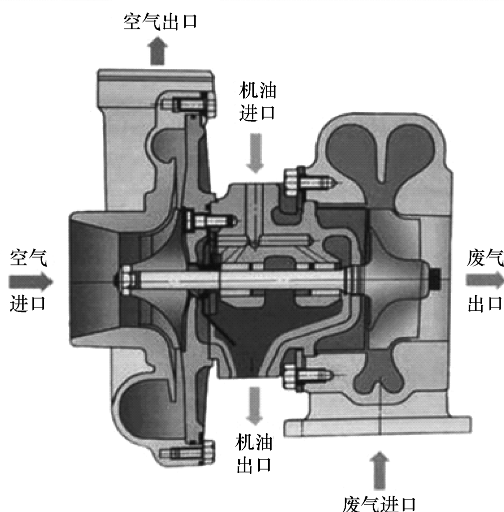


图7-5 涡轮增压器结构

显然，涡轮在如此的高温下还要进行高速运转，那就需要特别高效、稳定的润滑条件。而且在高温、高压环境下工作，增压器的各个部件以及润滑油必须具备良好的耐高温性和密封性。因此对于它的维护，就应该根据这些特点，从以下几个方面入手。

一、采用高品质机油

涡轮增压器的损坏通常是其与进气管之间的油封损坏，而导致密封失效，致使大规模烧机油。油封损坏后的原因是不能有效地保证增压器的润滑，或者使用了劣质的机油，导致浮动的涡轮叶轮轴不能正常润滑和散热，从而在高温下损坏油封造成漏油。

因此，涡轮增压发动机应该选择耐高温、抗氧化好的优质机油（天然气机油），并且还要注意适当缩短机油的更换周期。

二、注意保持涡轮的清洁

涡轮增压器转轴与轴承套之间的配合间隙很小，如果使用的机油不干净，或者由于机油滤清器不干净导致有杂质进入，那样就会造成涡轮增压器的过度磨损。另外，如果吸入的空气中含有大量杂质，这些灰尘颗粒一旦进入高速运转的增压器叶轮，就会使灰尘颗粒撞击涡轮增压器叶轮，从而造成涡轮运转不稳、轴套和密封件磨损。因此使用涡轮的车型要特别注意及时更换机油滤清器和空气滤清器，保持涡轮的清洁。

三、发动机起动后须怠速运行

涡轮属于一种高速旋转零部件，所以需要润滑油的实时保护，而在冷车起动的初期，机油压力不够，机油温度比较低，也比较粘稠，润滑效果不佳，待其升温到正常工作压力、温度则需要有一个过程和时间。如果在这几分钟内涡轮以高速旋转，那么就会增大涡轮的磨损，缩短涡轮的寿命。

四、发动机停车前须逐渐降低转速

由于涡轮工作起来的转速非常高，所以不可突然停车，骤然降低发动机的转速，而必须缓慢停车，逐渐降低发动机的转速，使发动机在怠速下运行几分钟。此时发动机的机油泵和冷却系统的风扇、水泵都在工作，可以让涡轮的转速、温度一点点降低下来再停车，就不会

损坏涡轮增压器了。

现在新开发的涡轮增压发动机可通过增压额外的冷却系统水泵控制阀来解决停车后涡轮散热的问题，不过需要注意的是，当关掉发动机后机油泵将停止工作，涡轮增压器的润滑，只能依靠发动机润滑系统的剩余机油来进行。此时，机油压力大幅下降，难以形成润滑油膜，若发动机仍然在高速旋转，发动机的曲轴、连杆组件和涡轮增压器叶轮轴极易被烧蚀。所以涡轮增压发动机停车前必须先怠速运转几分钟后再熄火停车。

五、定期检查很关键

应该经常检查涡轮增压器的外观，看各个密封环是否有损坏，机油进油管和回油管接头是否有松动和渗油的迹象，增压器废气排出口是否残留有机油，压缩机进气直管壁内是否有机油，以及涡轮增压器是否有异响或者不正常的振动。要注意检查增压控制系统，检查各连接管路是否有裂纹、破损，阀门的隔网是否被堵塞。如果在使用过程中发现有以上不正常现象，这时就需要尽早到 4S 店或者去特约服务站检修，以避免发生更严重的部件损伤。

LNG 载货汽车涡轮增压器在使用时应注意：

1）润滑：按规定牌号使用润滑油，并保证润滑油的清洁。

2）起动：LNG 汽车起动时，应当先怠速运行 3 ~ 5min，再逐渐提高发动机的转速。停车时要逐渐降低发动机的转速，怠速运行 3 ~ 5min，再停车关机。

3）冷却：保证涡轮增压器冷却液道畅通，冷却液温度不得高于 95℃。

第七节　LNG 载货汽车供气系统保养

除了上述保养要求外，还应根据 LNG 载货汽车的特点，对 LNG 供气系统进行维护保养。常规的保养应注意：

1. 低压电磁阀

为了及时切断或恢复燃料供给，低压电磁阀由 ECM 控制其开合，停机状态下处于常闭状态，以阻止天然气流向发动机，防止天然气泄漏。平时应注意对该电磁阀的清洁，视供给燃料的清洁度，一般每行驶 5 万 km 清洗一次。清洗时，应拆除电磁阀线圈，取出阀芯、阀座，并将它们浸泡在汽油中，再用干压缩空气吹干后使用。

保养要求：一般每行驶 5 万 km 清洗一次。

2. 电控调压器（EPR）

要经常拧松电控调压器（EPR）出气口上的排污柱进行排污，保证电控调压器（EPR）内部清洁。每 5 万 km 需对内部零部件进行清洗，更换易损件，检查轴销的磨损情况。每 15 万 km 需更换膜片及密封件，并对压力进行校准。

电控调压器保养要求：

1）每 5 万 km 需对内部零部件进行清洗，更换易损件，检查轴销的磨损情况。

2）每 15 万 km 需更换膜片及密封件，并对压力进行校准。

3. 混合器总成

从发动机上拆下混合器总成，检查混合器内部是否有明显的油污。若有油污，则需将混

合器放入汽油中浸泡清洗，清洗后用干压缩空气吹干。清洗后用手沿燃气阀运动轴线方向按压阀芯，检查阀芯运动有无卡滞，若出现卡滞，则需要更换混合器总成。

混合器保养要求：每 10 万 km 强制保养（视当地气体清洁度而定）。

4. 电控节气门

应从发动机上拆下节气门，检查节气门内部是否有明显的油污。若有油污，则需用节气门清洗剂清洗节气门部分，清洗后用干压缩空气吹干，再用手按压节气门，检查节气门运动有无卡滞，若出现卡滞，则需要更换电控节气门总成。

电子节气门保养要求：每 10 万 km 强制保养（视当地气体清洁度而定）。

5. 火花塞

每行驶 2 万 km 必须检查火花塞电极烧蚀情况，以及高压线胶套是否老化、开裂，同时清理火花塞电极间杂质和点火线圈接线柱的氧化物。

火花塞保养要求：每 2 万 km 强制保养。

6. 冷却液

若冷却液品质不好，易产生结垢，堵塞冷却液通道，降低冷却液的热交换能力，导致 LNG 汽化效率下降，直接影响发动机的燃气供给，使发动机功率下降，进而影响燃气系统的下游装置，严重的还可能导致汽化器冻裂而损坏。

检查防冻液是否变蚀、变质、变味和发泡，是否有悬浮物、沉淀物、变稠。

7. 发动机机油

LNG 发动机需用专用的高品质低灰分润滑油。普通机油的高灰分添加剂极易在发动机部件表面生成坚硬沉积物，引起发动机异常磨损、火花塞堵塞及阀门积炭、发动机爆燃、点火失时和阀门喷火，致使发动机动力下降、功率不稳定等，甚至缩短发动机的使用寿命。

检查机油是否变质、结胶、发黑，粘度是否降低。

第八章

LNG 载货汽车故障检查、分析及诊断方法



在进行 LNG 载货汽车故障判别及处理时：

首先要了解 LNG 载货汽车的工作原理、LNG 载货汽车零部件的特性，分析产生故障的原因，才能有效地判断、查明产生故障的症状，并对症状进行处理。

LNG 载货汽车是一部由诸多机构和系统、零部件组成的复杂机器，这些机构和系统、零部件之间存在着相互联系，它们相互制约、相互依赖，共同完成 LNG 载货汽车运行的工作。

LNG 载货汽车在正常的工作情况下，机构和系统、零部件都充分发挥着各自作用，此时汽车运行平稳，发动机等部件旋转稳定、无杂音，没有明显的排烟、异味，无漏水、漏气、漏油现象存在。LNG 发动机燃烧所需的供气压力、制动压力正常，机油温度、冷却液温度、排气温度在发动机要求之内，发动机燃烧完全，燃气消耗、机油消耗均在可控制范围之内，有害物的排放符合国家法规要求，各相关零部件连接可靠，处于良好的连接状态。

LNG 载货汽车由许多加工制造精度要求非常高的零部件组成，在一定的装配精度要求下，通过严格的装配、调试过程，组合起来形成具有一定功能的复杂机器。若其中一个或者几个零部件在汽车运行中性能发生衰退，与相关零部件工作出现不协调时，LNG 载货汽车便会出现不正常的现象，即通常所说的故障，而这些故障又常常以某种特定的模式表现出来，也就是人们所说的故障模式。

LNG 载货汽车产生故障的原因是多方面形成的，而且一种故障也会让 LNG 载货汽车以多种异常现象表现。要排除故障，必须首先判明导致故障的原因，而判明、分析故障的前提是：

1）要熟悉 LNG 载货汽车的工作原理、零部件特性。

2）结合工作中积累的实践经验，通过闻、看、听、摸和感等方法。

3）由简单到复杂，由表到里进行分析，逐个排查，寻找产生异常现象的根源。

通常有以下几种方法判别故障：

闻：LNG 载货汽车天然气泄漏、LNG 发动机燃烧不完全时，均会产生刺激人体嗅觉的异常气味。离合器摩擦片烧焦时也会产生刺激人体嗅觉的异常气味。

看：LNG 载货汽车冒白烟、蓝烟，各接头、接合面处出现漏水、漏油、漏气等现象，机油温度、冷却液温度过高。

听：LNG 载货汽车运行中有不正常的敲击声、放炮声、“嘘嘘”声等异常声音。

摸：LNG 载货汽车行驶中产生剧烈的振动、无规律的振动，LNG 发动机旋转中不均衡

的振动。

感：LNG 载货汽车在运行中，若 LNG 发动机转速骤然增大，或者运行车速突然减小。

在 LNG 载货汽车出现故障时，应该根据故障现象进行全面的检查，结合上述方法来判别故障，寻找出故障的部位和原因，然后对症予以解决。

第一节　LNG 载货汽车常见故障的检查、判别

当 LNG 载货汽车出现故障症状以后，查明故障的现象十分重要，而故障现象的表现形式会有很多种，要查明具体是哪一种现象起主要作用，是产生故障的主要原因。同时，还应分析查明次要原因，逐个对症从根本上彻底予以解决。若只查到了主要原因，或者查明了部分原因，则还是存在故障隐患，不能从根本上处理好故障。

一、检查故障

仔细检查出现故障的现象，是判别故障的基础。检查故障时，应当仔细了解 LNG 载货汽车运行中的基本情况，从 LNG 载货汽车性能、使用操作中的变化情况，LNG 载货汽车运行中的异响，各种温度、压力变化，零部件配合间隙、磨损及变形、损坏失效的形式等方面进行检查。出现故障的主要表现形式有以下几种：

（1）零部件失效　LNG 载货汽车在运行行驶中，零部件的力学性能会发生衰退，材料本身也会产生形状变化，致使零部件结构、加工精度、配合间隙、耐磨损性能和耐冲击性能等综合力学性能发生变化，导致零部件的功能发生衰减。

（2）运行中的异响　LNG 载货汽车在运行使用中，随着运行时间的增长，相互运动零部件的配合间隙会增大。配合间隙增大后，相互配合的零部件就会产生撞击，零部件因金属相互撞击而产生冲击异响，这种响声会随着汽车运行时间的增长而加剧。

（3）零部件磨损　由于零部件在相对运动过程中会产生相互之间的摩擦、撞击，随着时间的延长，这种摩擦、撞击就会使零部件的几何形状产生变化，结构产生变形，而这种变形会减弱零部件的功能，甚至造成零部件功能完全丧失。

（4）零部件裂纹　由于零部件设计强度不能满足 LNG 载货汽车的使用要求，或者在制造中出现加工缺陷，造成零部件在行驶中承载的负荷超出零部件的使用应力要求，以致出现应力裂纹，零部件产生破损，并丧失其功能。

（5）零部件变形　由于零部件结构设计不合理，设计强度不能满足 LNG 载货汽车长期、持久的各种负荷要求，随着 LNG 载货汽车行驶时间的增长，零部件会产生弹性变形、塑性变形。这种变形会影响到 LNG 载货汽车零部件本身功能的发挥，也会影响到相互配合零部件功能的发挥。

（6）机油压力变化　LNG 载货汽车运行时，发动机的机油压力必须分别满足发动机在怠速运转、高速运转情况下的压力要求，若发动机机油压力不能满足发动机规定的压力要求，则会因润滑不良造成 LNG 发动机曲轴烧瓦的现象。LNG 重型载货汽车配装 WP10NG336E40　LNG 发动机机油压力：

怠速时机油压力为 100 ~ 150kPa。

高速时机油压力为 250～600kPa。

（7）机油温度变化　汽车正常运行时，发动机的机油温度应不得大于 120℃。若发动机机油温度长时间在高温下工作（＞120℃），会造成机油粘度下降，机油流动性大，机油在各摩擦副之间难以形成润滑油膜，机油压力下降，造成零部件润滑不良，发动机运动摩擦副散热能力降低，零部件出现烧蚀现象。

（8）冷却液温度变化　汽车正常行驶时，发动机的冷却液温度不得大于 95℃。若发动机冷却液温度过高，发动机燃烧效率降低，排气温度也会随之升高，致使一部分零部件长期处于高温状态下工作，造成零部件早期失效、变形、功能衰退。

（9）供气压力变化　供气系统压力变化会直接影响到 LNG 载货汽车的动力性、经济性。由于供气压力低，进气量会随着供气压力的变化而发生相应变化，从而会影响到混合气浓度，直接影响到 LNG 载货汽车发动机燃烧做功。

二、分析诊断故障

汽车故障千变万化、千奇百怪、种类繁多，但是故障诊断的方法和步骤都是有一定规律性的，只要基本方法正确，思路清晰，方法得当，故障诊断也是很容易做到的。故障诊断的方法基本上可以归纳为 12 种：目测询问法、经验法、观察法、听觉法、试验法、触摸法、嗅觉法、替换法、仪表法、度量法、分段检查法和局部拆装法等。

（1）用目测、询问法诊断故障　其中目测和询问是诊断汽车故障的有效方法之一。当汽车发生故障时，维修人员第一个检查汽车故障的方法，就是对汽车故障表现形式进行初步目测，从外观上即可了解汽车故障的模式，这是非常重要的。有经验的维修人员，甚至一下子就能做出汽车故障的判断。

一辆汽车需要修理，维修人员一定要向驾驶人和车主询问，其中包括汽车型号、使用年限、修理情况、使用情况、发生故障的部位和现象，以及发生故障后做了哪些检查和修理，尽可能深入了解故障，这是一个捷径。通过询问基本上可以了解故障所发生的部位。例如，可以询问故障发生在发动机还是变速器，如果是发动机还能进一步了解是电气故障还是机械故障，如果是机械故障还能了解是曲柄连杆机构还是配气机构等，再进一步做出诊断就容易多了。故障确定后，就可定出维修方案。

（2）用经验法诊断故障　经验法诊断故障，是凭借维护修理人员的理论知识和丰富经验，快速准确地对汽车故障做出诊断。

理论知识是诊断故障的基础，将理论知识在实践中应用提高，从而获得丰富的汽车维护保养知识和维修经验，这是非常重要的。所谓维修经验也是十分重要的，有了汽车维修的经验，再遇到相同的故障和类似的故障一下就可以得到解决。因此要不断地总结实践经验，把实践经验通过理论知识再总结提高，这对于解决汽车使用中出现的各种各样的故障，甚至是非常复杂的疑难故障是十分有效的。

（3）用观察法诊断故障　所谓观察法就是汽车修理工按照汽车使用者指出故障发生的部位，仔细观察故障表现，然后对故障做出初步判断。这是一种在实践中应用最多、最基本，也是最有效的故障诊断方法。

例如，对发动机排气管冒蓝色烟雾的故障，可以通过冒蓝烟的现象来判断。如在使用过程中长期冒蓝烟，发动机使用里程又很长，一般可以判断为气缸或者活塞环磨损，致使活塞

与气缸套配合间隙过大，曲轴箱中的机油通过活塞环与缸壁之间的间隙窜入燃烧室引起。如果只是在发动机刚一起动时冒出一股蓝烟，以后冒蓝烟又逐渐变得比较轻微，一般可以判断为发动机气门杆上的挡油罩老化，或者挡油罩内孔磨损使挡油功能失效，而有少量机油沿着气门杆漏入气缸燃烧室引起的。

在观察的过程中，要用理论知识结合工作中积累的经验，对故障做出周密的分析和判断。有些故障现象光凭经验是不能准确判明的，必须要借助理论知识，要多看几次，仔细观察，才能由表及里，把故障现象看透。

（4）用听觉法诊断故障　用听觉诊断汽车和发动机故障是一种常用和简便的方法。当汽车运行时，发动机以不同的工况运转，汽车和发动机这个整体会发出一种嘈杂的但又是有规律的声音。当某一个部位发生故障时就会出现异常响声，有经验者可以根据发出的异常响声，立即判断汽车故障的部位、原因。例如，发动机曲轴和连杆机构异响、主传动器异响、传动轴异响，都可以轻易、准确地判断出来。

对于一个有经验的驾驶人、维修服务人员来说，在长期的行车和维修工作中能锻炼出听觉，很容易对汽车正常行驶、发动机正常旋转响声做出准确的判断，听清汽车各部位发出的声音，并从中判断出异响和故障。

汽车和发动机出现故障送修时，汽车维修人员往往在停车状态下起动发动机，让发动机以不同的转速运转，以听觉检查和诊断发动机的故障。对于底盘和传动系统的故障，往往以路试的方法，让汽车在不同工况下行驶，检查和听诊汽车故障。

对于发动机的疑难故障，还可以借助于听诊器和简单的器具进行听诊。例如：可用一个长杆听诊棒听诊曲轴和连杆机构的响声，这可以听到配气机构的响声；也可用一根胶管，插进机油标尺孔中，下端在油底壳机油油面之上可听清曲轴响声，还可以听到活塞环对口处窜气的响声。

在停车状态检查制动器，可在发动机熄火时踏一脚制动踏板，可以明显听到制动器抱死的声音，抬起制动踏板可以听到制动蹄恢复原位的声音。

有经验的驾驶人在行车中用行车制动，除了根据汽车减速的反应外，还可以听到制动器工作的声音，这样就能综合评价制动器工作是否正常。因为，汽车和发动机只要运转就有响声，首先应有较好的听觉，在汽车运行过程中随时监听汽车和发动机各部位发出的声音，随着汽车速度、发动机转速的变化，各处噪声各有不同，能够听清正常的声音，在正常声音中判断出异响，在异响中判断出故障。

（5）用试验法诊断故障　用试验法诊断汽车和发动机故障是常用方法之一，可用试验法在 LNG 载货汽车不解体或少解体的情况下检查 LNG 载货汽车和 LNG 发动机的故障，以达到诊断故障的目的。

有的故障不能准确进行判断，就常采用试验方法来对故障进行验证判明。例如，车主陈述汽车制动系统不灵，可在汽车停放位置踏下制动踏板，制动系统立即发出一套制动动作，试验者可以根据各制动器发出的响声判断制动系统的故障。如果一时还判断不清的话，还可以路试一下，在一定速度下踏下制动踏板，试验者可以根据汽车制动后的反应和各制动器发出的响声等情况，综合判断制动系统的故障。

同样，对于转向系统的故障，试验者可在原地转一转转向盘，由转向盘到车轮转动的整个转向动作中可以判断转向系统的故障。如果仍判断不清，可将汽车路试一下，有意识地在

弯道上转动转向盘观察转向系统的工作，试验者可以根据转向的反应和某处发生的异响判断转向系统的故障。

对于 LNG 发动机的故障，就要检查 LNG 发动机的运转情况，试验者以不同的转速或加减速运转 LNG 发动机，凭经验来观察 LNG 发动机的运转情况。凭经验来听诊 LNG 发动机的响声，一般可以找到故障。也可采取断缸试验，判断某一个气缸工作出现故障。

当某个灯不亮，怀疑电路无电时，可用一根导线对地端短路试划火检查，有火时可以判断为电路有电，无火再查。但是线路上多装有熔丝和继电器，试火时要慎重。

LNG 载货汽车和 LNG 发动机正常运转有一定规律，不正常就是发生了故障，不正常是可以试验出来的。对于正常与不正常的判断，必须要借鉴理论和经验做指导。

（6）用触摸法诊断故障　人体和人的手脚都是灵敏的感觉器官，可凭感觉来诊断汽车和发动机故障，行车中汽车的振动情况可判断悬架系统和减振器的损坏情况，一般驾驶人对此最敏感，如果常开一辆车，减振器失效后驾驶人都能感觉到。

汽车要上公路或高速行驶，通常驾驶人都要检查四个车轮，用脚踹车轮轮胎，可凭轮胎的弹力判断出轮胎的气压，可凭轮胎的偏斜和摆振情况判断轮毂轴承的紧固情况，这是典型的用脚触摸法。

汽车在高速公路上行驶后，驾驶人可用手摸一摸轮胎的温度，如是夏季轮胎磨得很热，就要当心了。可用手摸制动鼓，试一试制动鼓的温度，或以水淋在制动鼓上，看一看水的蒸发情况，就可以判断制动鼓是否拖滞。

当发现发动机过热而冷却系统中又有冷却液时，可用手摸一摸散热器的上部和下部，就可以根据冷却液是否正常循环，判断是节温器损坏还是散热器进水口堵塞。摸一摸水泵出水口胶管可以感到水流压力波动，说明水泵工作正常。

用手指的压力检查传动带的松紧度，用手指感觉供气管波动来感应气体流动，都是经常遇到的。在维修中，用手检查摩擦面的磨损情况，用手感觉摩擦副配合的松紧度等，都是很常见的。总之，手是人体的重要器官，手的感觉是非常灵敏的，而这个感觉就是故障诊断的最佳器具。

（7）用嗅觉法诊断故障　天然气无色无味，在汽车发生泄漏时，浓度稀薄的天然气不会感觉到异味，当汽化后的天然气体密度达到 5% ~15% 时，此时就会感觉到刺激的气味，在此种情况下极易发生爆炸。

LNG 发动机排气有异味，表示发动机烧机油或 LNG 发动机燃烧不完全。如果异味较大，在 LNG 汽车制动时更明显的话，就应调整或修理 LNG 发动机。

非金属材料烧煳的特殊气味，表示离合器摩擦片烧损或电线烧毁，要认真检查某处有无冒烟现象，或抚摸某处是否发热，以确定故障部位。

LNG 发动机漏机油，如果漏到运转的 LNG 发动机上，由于 LNG 发动机温度高，会产生异味，机油滴落在排气管上会产生更强烈的刺鼻异味。LNG 发动机的异味很容易从空调中进入驾驶室中，可以明显嗅到。

当 LNG 汽车用蓄电池泄漏，电解液会发出难闻的臭味，如果电解液消耗过多，LNG 载货汽车运行时发电机强行向蓄电池充电，会使蓄电池过热，蓄电池冒白烟，臭味更大。

车载物品或易燃、易爆物品泄漏时，也要引起注意。总之，LNG 载货汽车运行中一旦产生异味，或者异味较大时应停车进一步检查，查清故障根源，采取相应的措施，使之消除

异味。如系 LNG 载货汽车故障，则应排除或将 LNG 载货汽车送修。

（8）用替换法诊断故障　所谓替换法就是用合格的零部件，将初步诊断出来可能损坏的故障零部件更换掉，这是一种将故障诊断过程简化和有效的方法。但必须注意的是，替换用的零部件必须是合格品，如果不慎用坏件替换了坏件，不但找不到故障，反而会使故障发生部位虚假化，增加诊断故障的难度。

例如，发动机的机油压力指示系统发生故障，当怀疑压力感应塞损坏时，可用一个性能合格的压力感应塞，替换原车上的压力感应塞再试车，如果换件前存在故障，换后立即解决了问题，就证明这个部件发生了故障。如果换上去的好件在试车时仍然不好，那么故障可能不在这里，应当再用别的方法查找。

对于疑难故障，可以替换的零部件很多。例如，对于 LNG 汽车动力性不足的故障，可能是低压燃气滤清器堵塞，也可能是空气滤清器滤芯堵塞，这时就必须要分别检查两种滤清器滤芯的堵塞情况，分别替换（清洁）低压燃气滤清器和空气滤清器滤芯，以判明产生故障的原因是低压燃气滤清器还是空气滤清器滤芯所引起的。

替换法建立在先初步判明故障的基础上，再用替换法来验证故障判明的正确性。遇到一些故障，一换就灵，不失为一种简单、有效和可靠的故障判断方法。使用替换法一定要慎重，故障判断应当八九不离十，避免盲目乱换和增加工作量。

（9）用仪表法诊断故障　仪器、仪表是诊断 LNG 载货汽车故障不可缺少的工具，有条件时应当尽量使用。车载 ECU 电脑诊断仪，LNG 载货汽车上的仪器、仪表和指示器都可以有效地指示出汽车发生的故障所在。

例如，LNG 液位计显示器指示 LNG 的储量，当 LNG 载货汽车开不动，且 LNG 液位计显示器指示为零时，表明 LNG 汽车没有液化气了，而不是发生了故障。制动警告灯发亮，说明制动系统有故障，应进一步查找。

LNG 载货汽车用电压表，用以指示 LNG 载货汽车电气系统的电压值，在行车中也可以准确判断发电机的发电和蓄电池的充电情况。每当使用一个电气设备开关的时候，电压表都会有反应，即可以判断用电设备工作是否正常。

汽车用非接触式转速表，可以比较准确地测取 LNG 发动机的即时转速，它在行车中指示 LNG 发动机的转速，换档时指示 LNG 发动机转速的变化情况。有了发动机转速表，LNG 发动机的一些故障也能由转速表反映出来。

维修用气缸压力表，可以测得气缸压力和各缸的压力差别，以及各缸的漏气情况等。万用表可以很容易地判断汽车电气系统的故障。前轮定位仪也可测定汽车前轮定位参数。

上述这些仪器、仪表，都能在汽车维修中起到故障的检测作用，在判明故障时可以借助这些仪器诊断汽车上的疑难故障。

有了仪器和仪表，也要会使用，而且在使用中还要结合维修经验，灵活地运用这些仪器和仪表，对故障做出准确的判断。在诊断中不断实践，不断总结和积累经验。

（10）用测量法诊断故障　应用计量仪器、仪表测量汽车上各有效部位和各种参数的度量，是诊断、判明故障不可缺少的方法。

根据测量精度、测量对象，长度的测量要用到米尺，直径、间隙、位移等度量要用到千分尺、测微计、塞规、塞尺和卷尺等，力和重力的测量要用到测力计和测重器等，压力和真空度的测量要用到压力表和真空度表等。

LNG 载货汽车用各种测量仪表也都有测量单位。例如，对于声压的测量要用声压级的分贝值，对于电压的测量要用到伏值等。对于转向系统的故障，要用前束仪和前轮定位仪测量转向轮的前束值等。要用轮胎气压表测量轮胎的气压，必要时还可用角度尺度量转向盘的转角等，才能确切判断故障原因。

对于 LNG 发动机的故障，要在 LNG 发动机解体后测量气缸筒的直径，测量活塞环的直径、厚度和开口间隙等，从而找出发生故障的确切原因，才能修复 LNG 发动机。就是在修复中也要重新测量气缸筒直径，并按照分组的要求，选配相应的活塞和活塞环，才能修好 LNG 发动机。

诊断电控系统的故障时，更是离不开度量。例如，LNG 发动机工作不稳定或功率降低时，怀疑供气压力不足，就要用压力表测量系统压力。怀疑电控系统有问题时，就要用数字万用表测量电压和电阻值，用频率计和示波器测量频率和波形幅值等。因此各种量仪和量表是维修人员眼睛和手的延伸，只有正确度量才能准确判断，而凭感觉只是表面的。使用的度量器具精度，操作时的测量方法，熟悉仪器、仪表的程度对故障诊断准确性有很大的影响。

（11）用分段检查法诊断故障　这类方法就是在分析、判明故障时，按照汽车上的线路、管路和带有系统性质的工作路线去逐个检查、判明故障。检查可以按照系统从源头开始，沿着系统到执行机构的路线查找，也可以按从后到前的次序查找，另外也可以从中间查找，这取决于检查者的经验。如有经验能从某一段路线一下子找到更好，否则还得返回来从前向后查找。

例如，对于照明和指示系统的故障，原则上应从电源—开关—熔丝—继电器—线路—灯泡的路线，开始从前到后查找，有经验者可先查熔丝，有的人可能先查灯泡，有的人可能先查继电器。当由前向后或由后向前查不到时，问题可能发生在中间，或者是组合开关坏了，也有可能是某处线路坏了。

对于制动系统的故障，原则上应按制动踏板—真空助力器—制动主缸—制动管路—感载比例阀—制动管路—车轮制动器的顺序进行检查。对于有经验者也可以从车轮制动器或制动主缸开始检查，而后再检查其他部分。但是对于制动系统的疑难故障，则应从前到后使用测量仪表进行检查和度量，才能找到故障原因。

对于转向系统的故障，原理上应按转向盘—转向器—转向传动装置—转向车轮的次序进行检查。为了方便，也可以从转向传动装置的某处拆开，这样较易判断故障是在转向器部分还是传动机构的后部。利用已有的理论知识，用分段检查法有条不紊地进行检查，最终可找到故障根源。

（12）用局部拆卸法诊断故障　基本上判明故障发生在某个总成上以后，但还不能准确判断具体是哪一部分发生故障的时候，可以按照零部件总成的工作原理，局部拆掉零部件某一部分功能进行检查。如果方法运用得当，可以立即判断故障发生的部位。因此，局部拆卸法是一种简便易行的辅助诊断汽车故障的方法。

局部拆卸法与试验法近似，但局部拆卸法以拆卸为主，是一种拆卸后再试的诊断故障的方法。

例如，当怀疑 LNG 发动机的某一气缸不工作时，可以采用单缸断气拆卸法来检查，拆下这个气缸的高压点火线圈或者火花塞，起动发动机，若发动机在运转中的转速和响声均未发生变化，就表示这个气缸工作正常；反之，若发动机在运转中的转速和响声均发生变化，

则表明此气缸工作不正常。

如发动机动力性不足，怀疑低压燃气滤清器堵塞时，可以拆除低压燃气滤清器滤芯再起动运转发动机。如发动机动力性在无低压燃气滤清器情况下恢复，则表明故障就在这里；反之，拆卸低压燃气滤清器后，发动机动力性仍然不足，则说明不是低压燃气滤清器的问题，有可能是空气滤清器滤芯堵塞。

局部拆卸法实际上是使正常工作的发动机或电路系统失去了原来的功能，而在非正常工况下动作，因此拆装一定要慎重，当涉及安全项目时，要采取相应的安全措施。应用这类方法，要熟悉汽车结构和工作原理，掌握汽车的使用和维修情况，充分了解汽车故障的发生情况，有时还要借助专门的故障诊断设备才能找到。

所有故障诊断方法都是相辅相成的，目的就是找到 LNG 载货汽车发生的故障。灵活运用这些故障诊断方法，就能找到汽车故障，有针对性地对 LNG 载货汽车和 LNG 发动机等进行维修，恢复其正常使用功能。

第二节　LNG 载货汽车常见故障的分析

在分析 LNG 载货汽车故障产生的原因时，应当遵循“简单入手，安全第一，分割系统，气电并行”的原则。

LNG 发动机正常运行，离不开“两个基本点”，即温度、压力、成分总量合适的混合气和正确有效的点火。

一、从 LNG 载货汽车工作原理分析故障

1）电控 LNG 发动机的正常运行，依赖各传感器参数的正确采集，污染物较多的地方，需要定期清洁保养传感器，防止传感器“中毒”。汽车发生故障时，应首先利用诊断软件读取故障码，顺藤摸瓜查找故障原因。根据经验，传感器污染、插接件接触不良、元件老化占了故障总量的很大比例。

2）LNG 发动机点火系统，其点火电压普遍较高。高压线圈的输出能力、绝缘性，火花塞的清洁度和跳火间隙都是维修时的重点检查项目。需注意点火控制系统非常精密，电控点火 LNG 发动机不宜在运行中采用拔高压线跳火的方式诊断故障。

二、从 LNG 载货汽车运行现象分析故障

1）LNG 发动机最常见的故障是动力不足，在判断此故障时，应注意从进气增压、LNG 供应、点火系统三个方面考虑。许多 LNG 发动机采用了稀薄燃烧技术，对增压压力非常敏感，稍有泄漏就会造成动力严重下降。LNG 供应涉及电控阀、稳压器、汽化器、缓冲罐和循环加热管路等多个环节，也是故障的主要来源。点火系统造成的动力不足多是“软故障”，在不同转速和负荷下，点火系统可能有截然不同的表现，诊断时可利用断缸试验，判断各缸点火情况。

2）LNG 发动机怠速运行时排气系统中有回火声，且尾气中有刺激性气味，基本上可以直接判定为点火系统故障，可检查火花塞、高压线圈等部件，采用替换法确定故障。

三、维护注意事项

1）尽管 LNG 发动机多基于柴油发动机基础开发，但零配件使用时需要特别注意与同系列柴油发动机区分。LNG 发动机与柴油发动机在气缸盖、活塞部件有显著区别，但气缸体、曲轴、水泵和润滑系统等基础部件可通用。

2）整车供电电压的波动会引起点火不良、“放炮”等故障。

3）很多 LNG 发动机采用了（火花塞顶置点火线圈 COP）的结构，有效提高了点火效率和可靠性。对于该类结构，需特别注意不得在诊断故障时，在 LNG 发动机未运转的情况下，操作单缸火花塞单独“试火”，这样极易造成 ECU 点火线圈驱动模块损坏。同时，需定期检查硅胶套有无裂纹，线圈电极有无腐蚀漏电，否则会造成线圈严重烧蚀。

4）检查电气线路是否老化、破损，接头有无松动的现象。

第三节　LNG 载货汽车故障处理方法

一、汽车故障诊断的基本方法

1. 仪器诊断

仪器诊断是在经验判断的基础上发展起来的现代检验方法。该方法可在 LNG 载货汽车不解体的情况下，用仪器或设备测试汽车性能和故障参数、曲线或波形，甚至能自动分析和判断 LNG 载货汽车的技术状况。随着电控技术的出现，给汽车带来了一场革命，也使汽车维修的内容、方法发生了很大的变化。一方面，由于汽车的结构、技术性能的变化，使载货汽车也变得越来越高级化，更加难以判断其故障。而另一方面，由于电控系统中的电子控制单元（ECU）所特有的自诊断系统，又使人觉得对其故障的诊断更加容易。

2. 人工诊断

人工诊断是诊断 LNG 载货汽车故障的一种重要的方法。但由于其诊断的准确性直接取决于诊断人员的水平，所以，要求诊断人员必须有扎实的理论功底、丰富的实践经验、熟练的操作技能和准确的判断方法。具备这些必要条件后，就可以迅速、准确诊断出现故障的原因和发生故障的部位。

二、汽车故障诊断的四项基本原则

1）先简后繁、先易后难的原则。

2）先思后行、先熟后生的原则。

3）先上后下、先外后里的原则。

4）先备后用、代码优先的原则。

三、汽车故障诊断的流程

1）了解故障产生的时间、现象、当时的情况、发生故障时的原因以及是否经过检修、拆卸等。

2）初步确定出故障范围及部位。

3）调出故障码，并查出故障的内容。

4）按故障码显示的故障范围进行检修，尤其注意接头是否松动、脱落，导线连接是否正确。

5）检修完毕，应验证故障是否确已排除。

6）如调不出故障码，或者调出后查不出故障内容，则应根据故障现象，大致判断出故障范围，采用逐个检查元件工作性能的方法加以排除。

第九章 LNG载货汽车常见故障及维修方法



LNG载货汽车由于燃烧介质不同，它与燃油发动机存在着一定的结构差异，所表现的故障模式也不相同。在分析LNG载货汽车故障时，应根据其工作原理、结构差异特性进行分析，通过检查故障产生的症状表现，分析产生故障的原因，判别出现故障及其相关连接零部件的相互关系，准确地制定维修方案。

从某种情况上讲，检查故障出现的现象是判别故障的基础，分析故障出现的原因是判别故障的核心，而更换零部件则是排除故障的手段，恢复零部件的功能是维护、修理的结果。这是载货汽车维修的基本工作方法。

第一节　LNG载货汽车无法正常起动、行驶故障的判别处理

LNG载货汽车在运行中，由于使用不当，往往会出现无法起动，或者在运行中动力不足的现象。这种现象影响LNG载货汽车的正常运行，究其产生的原因，基本上都与供气管路堵塞、供气压力偏低、供气系统零部件功能失效等有关，这也与LNG载货汽车使用维护、保养得当与否有密切的关系。下面对产生这种故障的主要原因逐个进行分析。

维修LNG载货汽车之前，应当先了解供气系统流程，才能有效地对LNG载货汽车进行维修。LNG供气系统流程如图9-1所示（未含控制、调压部件）。

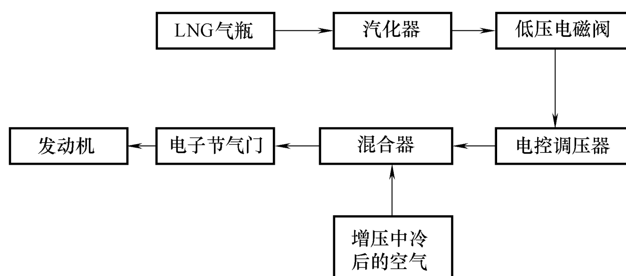


图9-1　LNG供气系统流程

一、LNG载货汽车无法正常起动的原因

在电气系统正常的情况下，故障的主要原因是汽化后的天然气没有进入混合器（断

气）、供气压力较小、供气量不足而不能满足 LNG 发动机的起动要求。

（1）故障表现形式　打开出液截止阀慢慢开启到 1/4 圈，将 LNG 汽车的变速器处于空档位置，接通电源，检查仪表参数正常后，隔几秒钟后起动 LNG 发动机，LNG 发动机空转，无法起动。连续起动几次均无法起动 LNG 发动机。

（2）故障分析判断　供气系统的燃气没有进入混合器、没有进入 LNG 发动机燃烧室燃烧。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）供气管路堵塞。

故障原因：供气管路中进入水，形成冰堵，管路不畅通，或者装配管接头时灰尘、泥土进入气管，气态天然气无法进入发动机混合器混合，发动机无法正常起动。

排除故障：可用扳手将供气系统与 LNG 发动机相连的进气管接头松开 1 ~2 圈，如图 9-2 所示，此时从进气管接头处有气体泄漏出来，就说明燃气供应管路畅通。反之，则应进行逐段检查，清除管路堵塞或者更换管路接头，排除故障。或者用热水冲喷堵塞的气管，或者用空气压缩机的气体冲喷堵塞的气管。

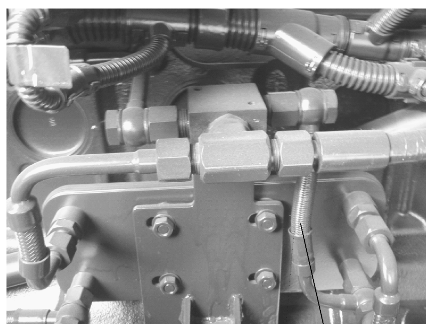


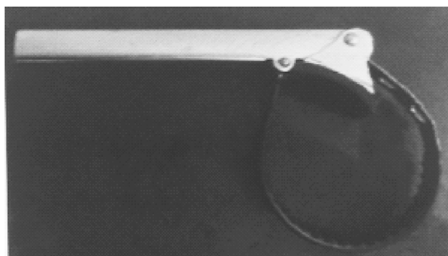
图 9-2　检查发动机进气管堵塞

2）低压燃气滤清器堵塞。

故障原因：LNG 里含有杂质，装配管接头时灰尘、泥土进入气管而堵塞低压燃气滤清器。因低压燃气滤清器堵塞，进入发动机混合器的天然气量不足，发动机无法正常起动。

排除故障：拆卸低压燃气滤清器，清除低压燃气滤清器的油污、水分及固体颗粒等杂质，或者更换低压燃气滤清器。

注意：拆装低压燃气滤清器工具的接触面必须垫放橡胶、布条等软性材质，或者采用拆卸专用工具，如图 9-3 所示。严禁金属等硬物材料直接接触，以免损伤低压燃气滤清器铝制外壳。拆卸低压燃气滤清器时，必须注意旋转方向。拆卸方法如图 9-4 所示。


图 9-3　拆卸专用工具

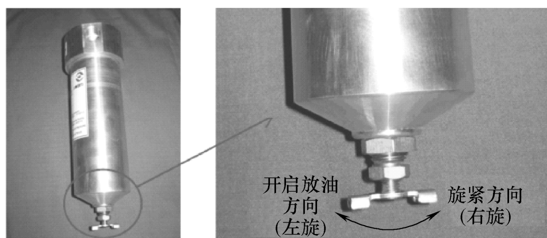


图 9-4　拆卸低压燃气滤清器

低压燃气滤清器能滤掉 95% 以上的 0.0003 ~0.0006mm 范围的悬浮颗粒，从而保证进入发动机低压电磁阀的气体清洁。图 9-5 所示是低压燃气滤清器中燃气流向示意。

3）供气系统压力较低。

故障原因：稳压器失效、LNG 汽车长时间连续行驶运行、气瓶泄漏、自增压系统失效

和环境温度过低等因素都会造成供气系统压力低，从而使发动机无法正常起动。

排除故障：检查稳压器，检查气瓶及其管路是否漏气，检查自增压系统是否正常。

观察仪表板液位显示器上压力表的供气压力值，是否满足 LNG 发动机的供气压力要求，要求供气系统的压力必须高于发动机工作压力（LNG 重型汽车发动机供气压力不低于 0.86MPa）。若压力表上的压力不低于 0.86MPa，则说明燃气供气压力正常。反之，则应用供气系统自增压装置，将压力增压至 0.86MPa 以上。

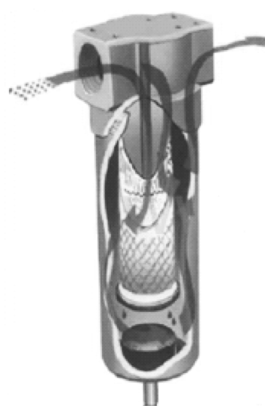


图 9-5　低压燃气滤清器中燃气流向

4）低压电磁阀门未打开。

故障原因：若低压电磁阀门开启不足，会影响到天然气的供气量，从而影响到发动机的起动。

排除故障：用发动机 ECU 检查电磁阀门是否打开，插接器是否连接可靠。若低压电磁阀门未打开，则应对低压电磁阀进行修复，或者更换低压电磁阀。

平时应注意定期对低压电磁阀进行清洁。保养清洗时，拆除电磁阀线圈，取出阀芯、阀座、滤芯，将阀芯、阀座用汽油浸泡清洗，将滤芯用干压缩空气吹干净后装复。

低压电磁阀被水溅湿，也会造成电磁阀失效、阀门打不开的现象。若低压电磁阀潮湿后，可低温烘干低压电磁阀，或者更换低压电磁阀就可排除故障，使发动机顺利起动。

5）电控调压器失效。

故障原因：低压燃气滤清器失效，天然气杂质长时间进入电控元件，造成电控元件早期损坏。

电控调压器根据发动机的运行工况，接受来自 ECM 的控制指令，通过电磁阀控制天然气流量和压力，从而实时有效地控制空燃比。若电控调压器失效，会影响到 ECM 控制指令的正确执行，使发动机的工作压力无法得到有效控制，从而出现压力较低而导致发动机不能正常起动。

排除故障：保养、清除低压燃气滤清器的油污、水分及杂质，或者更换低压燃气滤清器，更换电控调压器。

6）汽化能力不够、汽化器结冰。若汽化器流量较小，就应根据发动机的功率重新选配流量合适的汽化器。或者在汽化器后增加一个热交换器，如图9-6所示，以提高燃气的温度，将天然气的温度控制在 −20～45℃。

注意：装热交换器时，应注意热交换器天然气出、入气口和冷却液进、出水口的方向，应交叉布置，使冷却液和天然气流动方向对流正确。

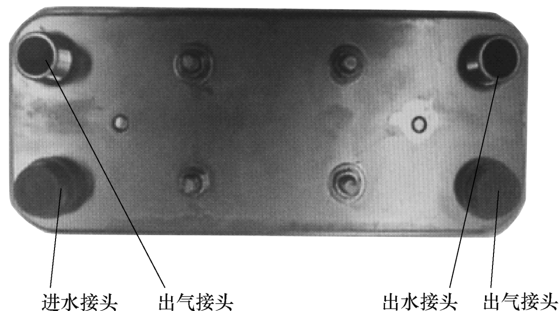


图 9-6　热交换器气管、水管连接

7）汽化器进、出水管与 LNG 进液接头、出气接头接反。为保证 LNG 能有效地转化为

气态气体，汽化器进液管、出气管与汽化器的进、出水管切不可装反，否则，将无法有效地汽化 LNG，造成 LNG 发动机供气量不足或不能正常起动、动力不足等现象。

汽化器进液管、出气管与汽化器进水管、出水管正确的管路走向：从气瓶到汽化器的进液端应当与汽化器进水端同向，汽化器出气端应当与汽化器出水端同向，如图 9-7 所示。

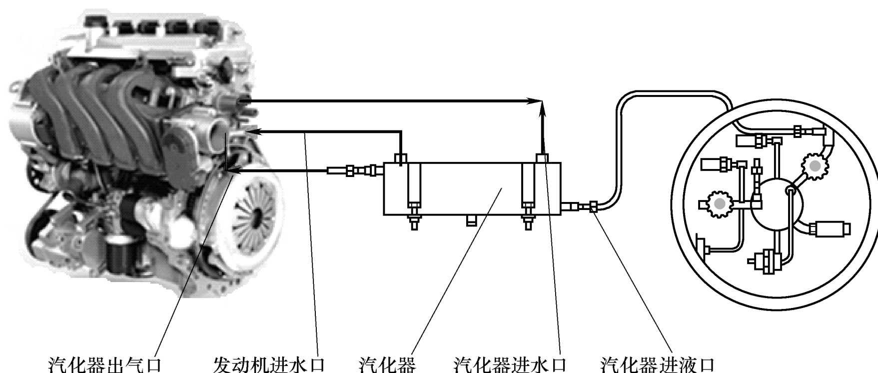


图 9-7　汽化器进出管路连接

8）电子节气门开度不够。

① 电子节气门阀体上有积灰，需清洗节气门。首先要拆除进气喉管，露出节气门，拆掉蓄电池负极接头，关闭点火开关，把膜片扳直，往节气门内喷少量清洗剂，然后用涤纶抹布小心擦洗节气门，手够不着的地方可以用夹子夹住抹布小心擦洗，擦洗时注意不得损伤节气门阀体与节气门板密封面。

② 电子节气门开启不灵活。电子节气门有卡滞现象，反应迟钝，应将发动机 ECU 电子节气门程序初始化（刷新），使其恢复出厂状态。

③ 电子节气门位置传感器失效。拔下电子节气门位置传感器插头，检查导线是否对正极短路或断路，如果导线无故障，则需更换电子节气门位置传感器。

④ 电子节气门的开度大小直接影响进入 LNG 发动机气缸内混合气量的多少，从而影响 LNG 发动机的动力性、经济性。

二、LNG 载货汽车动力不足的原因

LNG 发动机供气系统压力，与进入 LNG 发动机混合器燃烧的气态天然气流量有直接的关系：供气压力越高，进入 LNG 发动机混合器燃烧的混合气量就越多，就能保证 LNG 发动机燃烧做功所需要的燃料，从而保证发动机燃烧时能发出最大的功率。所以，LNG 汽车动力不足，与发动机燃烧时进入发动机气缸的天然气压力（天然气密度）有直接的关系。

1. 汽车供气系统工作压力过低

（1）故障表现形式　LNG 汽车运行时，运载能力大大降低，虽然能够起动，但在汽车带负荷运行时，往往会出现动力不足的现象，行驶速度也达不到汽车标定的要求，尤其是上坡时明显感到汽车无力，必须降档运行，而且燃气消耗量也增加。

（2）故障分析判断　由于供气系统压力较低，进入混合器的天然气流量也相应减少，天然气与过滤后空气的混合浓度未能达到发动机燃烧的最佳热效率要求，因此，出现 LNG 汽车动力不足现象。

（3）产生故障的原因及检查排除故障

1）供气系统压力低。检查供气系统的压力是否满足发动机的供气压力要求，若压力不够，就需要调整稳压器，将供气系统的压力调整至比发动机供气系统压力设定值高 0.05 ~ 0.1MPa。

2）空气滤清器滤芯堵塞。LNG 汽车燃烧的介质是由气态天然气和经过空气滤清器过滤后的空气混合形成的，若空气滤清器滤芯堵塞，则会造成进入发动机的空气流量减少。

3）气瓶内压力过低。经济阀调节不当，应把经济阀调至供气系统规定压力。

4）泄漏。管路及管件泄漏，应修复管路、管件，并再次检漏。

5）冷却液温度太低。按第三章第七节方法，检查发动机节温器初开和全开行程，必要时视情况更换节温器。

2. 汽车运行中，瞬时出现动力不足

（1）故障表现形式

1）重载上长距离坡时动力不足。LNG 载货汽车重载上长距离的坡时，行驶到一段路程后，出现动力不足现象。

2）进气负压较大。LNG 载货汽车重载上坡时，会瞬时出现动力不足的状况，只要换档或者降档，此情况马上会消失，很快就恢复行驶动力。

（2）故障分析判断

1）LNG 发动机的持续做功能力。LNG 载货汽车重载上长距离的坡时，对 LNG 发动机的持续做功能力要求较高，因此必须保证供气系统的压力稳定、天然气流量在正常范围内，否则不能满足重载长距离上坡的动力需求，就会出现动力不足现象。

2）LNG 发动机负压较高。汽车上坡时，因 LNG 汽车气缸内的真空度比柴油汽车要大一些，会在 LNG 发动机深踩加速踏板时产生较大的真空度，将 LNG 发动机中冷器的橡胶管抽扁，因此会在瞬时出现供气不足现象，造成发动机动力不足，一经换档或者降档，负压减小，动力就会马上恢复。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）供气系统的压力。LNG 载货汽车重载上长距离的坡时，气瓶的压力一定要大于发动机供气系统压力 0.05 ~ 0.1MPa，也就是保持在 0.9MPa 以上（重型载货汽车进气压力）。若气瓶的压力保持在 0.9MPa 以上，汽车在标准核定载货情况下，可以消除动力不足的现象。

2）中冷器橡胶管吸扁。发动机起动后，从怠速升至额定转速，检查发动机运行中，中冷器橡胶管有无吸扁的现象。若有吸扁现象，如图 9-8 所示，说明在发动机运行中，中冷器橡胶管会产生负压，发动机进气流量减少而出现稀薄燃烧，导致发动机动力不足。

出现此种情况时，应及时更换中冷器橡胶管，或者将中冷器进、出气橡胶管改成钢管与橡胶管组合形式，且设置防爆环，如图 9-9 所示。这样就可以有效地防止橡胶管吸扁变形，提高进气管的刚性，避免产生中冷器橡胶管被吸扁的现象。

3. 混合气过稀或过浓

混合气燃料与空气之比较大，称为过浓；混合气燃料与空气之比较小，称为过稀。混合气浓度过浓或过稀，会使 LNG 发动机燃烧出现爆燃，或者 LNG 发动机动力性下降。

（1）故障表现形式　动力不足、运转不平稳、燃气耗增加、发动机声音很闷、加速无力、怠速不稳和火花塞发黑积炭严重。



图 9-8 中冷器橡胶管吸扁

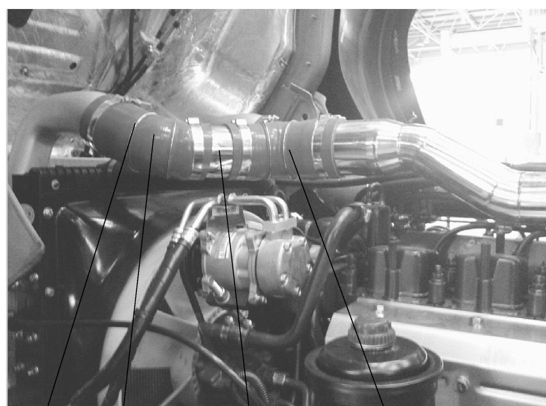


图 9-9 组合型中冷器进、出气管

（2）故障分析判断 由于氧传感器失效，从而无法准确地测量排气中氧分子的浓度，所以 ECM 修正的燃气供给量与过滤后空气的混合比，无法达到 LNG 发动机燃烧所需要的最佳空燃比。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）混合器漏气，造成空燃比失调。由于混合气里面含有灰尘、杂质，混合器膜片会发生磨损、损坏而产生漏气。

2）氧传感器失效。氧传感器的正常使用寿命约为 110000km，出现这种情况后，应将失效的氧传感器进行更换。

3）氧传感器老化。一方面，炭烟、铅化物、硅胶和机油等物质沉积在氧传感器上，造成其失效。另一方面，因传感元件局部表面温度过高而加速传感器老化。

氧传感器失效就意味着 LNG 发动机运行修正功能失效，系统只能依靠空气流量传感器、进气压力传感器、转速信号、节气门开度信号、冷却液温度信号和凸轮轴位置信号等确定修正空燃比，调整点火提前角。氧传感器失效、老化后，必须进行更换处理。

4）氧传感器安装注意事项。

① 氧传感器不能安装在排气管弯管处（弯管处气流有变化，所测氧含量不准）。

② 氧传感器的安装必须保证氧传感器头部能完全伸入排气管，准确测量氧含量。

③ 氧传感器安装在涡轮增压器和排气制动下游 5～15cm 的位置，并尽量靠近增压器（与增压器距离在 0.8m 以内，氧传感器结构要求压力不能超过 250kPa）。

应安装在离增压器出口 3～5 倍排气管直径距离（此位置能够较准确且及时反映氧含量变化）。

④ 为防止氧传感器烧粘在排气管上，在重复安装氧传感器时应在螺纹上均匀涂抹二硫化钼（潍柴出厂时氧传感器已涂抹二硫化钼，首次安装不需要涂抹）。

⑤ 安装座面与排气管径向垂直，且在水平面之上，保证安装后氧传感器头部向下；氧传感器头部加热温度为 750℃，应防止冷凝水、异物进入。

⑥ 氧传感器接插件不允许淋雨（环境空气从接插件泵入氧传感器内部）。

⑦ 氧传感器安装在排气管（周向）背向发动机一侧（防止氧传感器线束接插件烫损）。

⑧ 氧传感器线束及接插件应尽量远离排气管，距离不小于 20cm。必要时线束及接插件处外包隔热罩。

4. 点火线圈失效

若某一气缸或者几个气缸点火线圈失效，就意味着失效的点火线圈不能点燃该缸，使发动机断缸工作，发动机的动力性会因此而减小。

（1）故障表现形式　不能产生高压电或电压不高，使火花塞无火或火弱，造成发动机工作不正常，发动机动力不足。

（2）故障分析判断　部分气缸因点火线圈损坏、失效而没有点火工作，造成缺缸工作。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）发动机不工作。点火开关长时间未关断，由于电流的热效应破坏了点火线圈中的线圈绝缘。出现这种情况，必须更换失效的点火线圈。

2）发动机过热。线圈绝缘漆被烤化而失效，应重新涂抹耐高温的绝缘漆。

3）火花塞电极间隙过大，增大了点火线圈的负荷，使高压线圈被击穿，造成短路或断路。出现这种情况，必须更换火花塞。

4）高压线断路，使产生的高压电无路可通，容易造成高压线圈被击穿。这时发动机不易起动。出现这种情况，应检查高压线路是否断路，视检查情况排除断路故障。

点火线圈的常见故障是线圈被击穿。

5. 点火提前角不正常

点火提前角的大小，直接关系到天然气发动机的燃烧过程，合理的点火提前角可以同时满足其动力性和经济性要求。反之，过大或者过小的点火提前角，都会对 LNG 汽车的动力性造成影响。

（1）故障表现形式　在 LNG 汽车进气系统和点火系统都正常的情况下，发动机动力减小、燃气消耗增大、排气温度也有所提高。

（2）故障分析判断

1）LNG 发动机气缸温度、气缸压力越高，点火提前角就越小。而影响 LNG 发动机气缸温度和气缸压力的因素有发动机压缩比、环境温度、发动机气缸温度、气缸压力和汽车行驶负荷。

2）辛烷值越高，抗爆燃能力越强，点火提前角也可以相应增大。

3）混合气过浓或过稀，均会降低燃烧速度，需要增大点火提前角。点火提前角的调整，应视节气门开度、海拔而确定。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）根据发动机零部件的磨损情况，调整点火提前角。电子点火系统由发动机 ECU 根据各传感器的信息，对点火提前角实行动态控制，保证发动机的最佳点火提前角。但是，随着使用时间的增长，LNG 载货汽车的磨损增大，各部分性能都会产生一定的降低和衰减，此时，就应根据 LNG 载货汽车性能降低的情况，适时调整点火提前角。

2）根据汽车运行地区海拔的不同，调整点火提前角。随着海拔的提高，发动机进气量会有所下降，从而造成 LNG 发动机稀薄燃烧。由于各地海拔不一样，在海拔差异较大时，也应根据海拔的具体情况，对发动机点火提前角进行调整，以满足发动机燃烧的需要。

3）根据所用 LNG 的辛烷值成分，调整点火提前角。由于不同地区 LNG 的辛烷值有所

差异，点火提前角也要随辛烷值的增大而提高。辛烷值越小，抗爆燃能力越差，点火提前角就要相对减小。

点火提前角过大，天然气滞燃期过长，燃烧缓慢，燃烧时间延长至膨胀过程，燃烧最高压力和燃烧温度下降，传热损失增多，排气温度升高，发动机燃烧热效率降低，但是爆燃的倾向减小，发动机的尾气排发中 NO_x 升高，发动机的有效功率和最大转矩降低，燃气耗减小。

点火提前角较小，燃烧速率加快，发动机气缸压力、燃烧温度增高，LNG 发动机工作粗暴，并且由于压缩功率增大，向气缸壁传热增加，致使 LNG 发动机功率损失增大，火花塞、活塞等零部件过热。混合气在燃烧后期进行，此后紧接着进入排气阶段，部分未燃烧完全的新鲜混合气也会随着排气被排出燃烧室，所以 LNG 发动机的有效功率和最大转矩也会降低，同时耗气量还会有所增大。

6. 增压压力不足或者中冷温度较高

增压压力越低或者中冷温度较高，就意味着进入发动机的进气密度减小，进入发动机燃烧的混合气就相应较少，发动机的动力就降低。

（1）故障表现形式　发动机排气温度高（涡轮增压器外表呈现出暗红色），如图 9-10 所示。由于发动机排气温度高，发动机工作时烧机油，排烟呈蓝色。增压压力降低，致使 LNG 载货汽车动力下降，涡轮增压器排气口有机油的痕迹。

（2）故障分析判断

1）涡轮增压器的空气滤清器阻塞，使吸气损失增大，造成增压压力不足。

2）甩油环和密封环失效，造成漏油、漏气，使增压压力下降。

3）机油回油压力过大，造成漏油，涡轮增压器无法形成良好的密封，使增压压力下降。

4）进气系统的密闭性差，会使灰尘吸入涡轮增压器及发动机，损坏涡轮增压器和发动机。

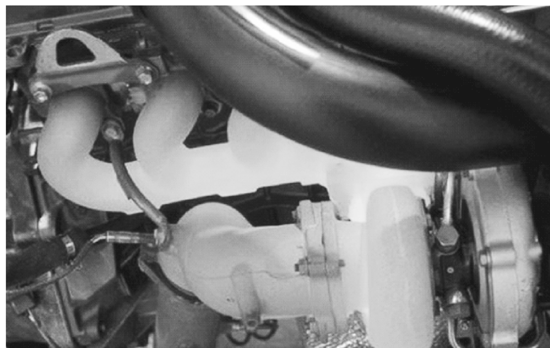


图 9-10　涡轮增压器呈暗红色

5）涡轮轴上密封环磨损，严重时有大量油滴从排气管排出，拆下排气连接管，可见涡轮排气口有机油的痕迹。

6）压气机内部空气通道油垢过多，当气流在较多油垢的通道内经过时，会使气流阻力增加，造成增压压力降低。

7）涡轮增压器至进气门之间的管路或接头漏气，使增压压力下降。

8）涡轮排气背压过高。由于涡轮处排气背压过高和排气不通畅，使转子转速降低，也会导致增压压力的下降。涡轮处排气背压过高的原因主要是排气管变形或阻塞、三元催化转化器变形或阻塞。

9）LNG 发动机长期处于高温状态，喷嘴环叶片变形，使喷嘴面积增大，转子转速降低，导致增压压力下降。

10）中冷器内部气道被粉尘堵塞后，空气流动阻力必然增大，使增压压力下降。

11）由于涡轮增压器转动件与固定件相碰擦，机械损失增大，使转子转速下降，导致

增压压力下降。

12）涡轮外缘与涡轮外罩间隙过大，使增压压力下降。

13）由于消声器流量较小，排气背压过高，导致增压压力下降。

消声器流量与发动机排量相关，发动机排量越大（发动机排量越大，功率就越大），所匹配的消声器流量也会相应增大。表 9-1 是国内某载货汽车消声器流量与发动机功率的匹配参数。

表 9-1　消声器流量配置参数

发动机型	标定功率/kW	标定转速/(r/min)	排气温度/℃	排气流量/(m^3/h)
YC6L270-42	199	2200	≤600	3428
YC6M300-20	221	2100	≤600	3780
YC6M340-40	250	1900	≤600	3536
YC6MK350-40	258	1900	≤600	3634

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）空气滤清器滤芯堵塞（图 9-11）。当空气滤清器滤芯堵塞后，可用干净空气从空气滤清器滤芯从里向外吹，以排除空气滤清器滤芯里的粉尘、泥灰，或者更换空气滤清器滤芯。

2）甩油环和密封环失效，造成漏油。观察发动机工作时排烟是否呈蓝色，或者用鼻子闻一闻排烟有无机油味，功率有无下降，观察空气压缩机出气口和管壁上是否粘附有机油油污。若有这些现象，则可判明是甩油环和密封环失效，视情况更换甩油环和密封环。

3）曲轴箱通风管阻塞，机油温度升高、压力增大。因曲轴箱通风管折叠，造成曲轴箱通风管阻塞而不能排气，如图 9-12 所示，致使机油温度升高，机油变质，机油压力过大，造成漏油。拆检曲轴箱通风管，并进行清洗，视情况进行更换。

4）进气系统损坏。检查发动机进气系统损坏的原因，排除故障，保证进气系统良好的密闭性。

5）涡轮增压器涡轮轴上的密封环磨损，涡轮排气口端漏机油。定期更换润滑油，清洗机油滤清器，更换涡轮轴上的密封环。

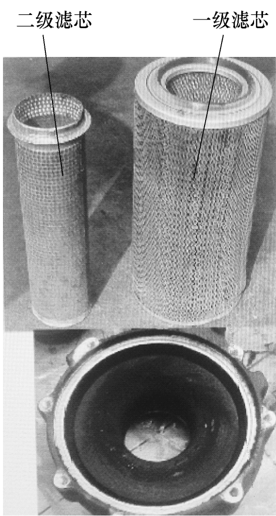


图 9-11　空气滤清器滤芯堵塞

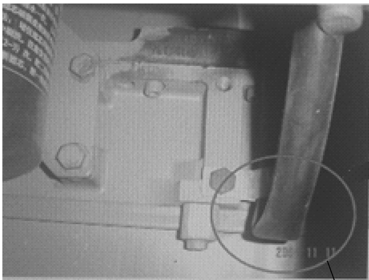


图 9-12　曲轴箱通风管堵塞

6）发动机燃烧温度高，机油过脏、变质。视情况排除发动机温度高的故障，更换天然气专用机油。

7）管路或接头漏气。检查涡轮增压器至进气门之间的管路或接头，对漏气的管路或接头进行紧固，对损坏的管路或接头进行更换，消除漏气现象。

8）中冷器内部气道堵塞，进气阻力增大。由于中冷器气道的通道截面较小，内腔截面宽度只有1.0～1.5mm，如图9-13所示，很容易堵塞中冷器滤芯管道，因此必须对中冷器堵塞情况进行检测。当中冷器前后的压力差超过26.7kPa时，就要对中冷器进行清洗，必要时更换中冷器。

9）涡轮增压器转动零件磨损，间隙增大。由于涡轮增压器长期在高温状态下工作，也由于润滑机油里的粉尘、杂质，造成涡轮增压器叶轮轴等旋转运动零部件摩擦副磨损、间隙增大，如图9-14所示。

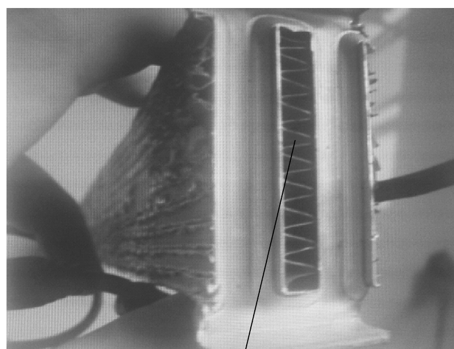


图9-13　中冷器气道截面

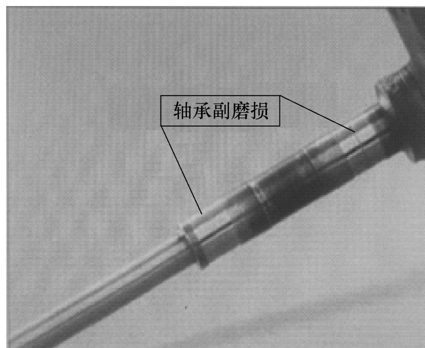


图9-14　涡轮增压器叶轮轴磨损

10）涡轮长期在高温状态下工作变形。涡轮变形，涡轮外缘与涡轮外罩间隙增大。

11）排气背压过高。消声器流量较小、排气管直径小、排气管折弯半径小、三元催化转化器变形或阻塞以及排气背压过高，都会使叶轮转速降低，导致增压压力下降。

为了保证涡轮增压器有良好的工作状态，涡轮增压器的正确使用十分重要。由于涡轮增压器叶轮轴在工作中转速高达20万r/min以上，所以对涡轮增压器的润滑油质量、涡轮增压器的工作温度、叶轮转子运转平衡要求非常高。叶轮轴外形如图9-15所示。

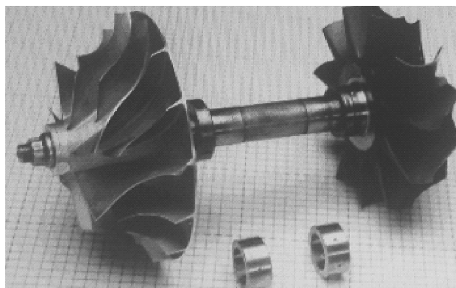


图9-15　涡轮增压器叶轮轴外形

（4）使用中要注意

1）定期更换机油及机油滤清器。因增压器全浮动轴承对润滑油的要求很高，因此必须按LNG载货汽车要求牌号使用机油，并按规定周期更换。若使用劣质机油，会造成拉伤或者磨损涡轮叶轮轴轴承副，拉伤、磨损叶轮轴，如图9-16所示。

2）要经常检查机油油量，避免因缺少机油而导致涡轮转子轴、止推板等零件烧蚀，如图 9-17 所示。

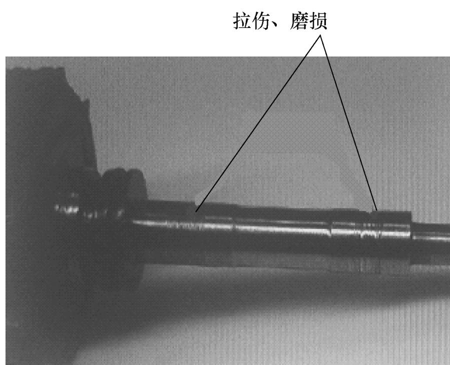


图 9-16　涡轮增压器叶轮轴拉伤、磨损

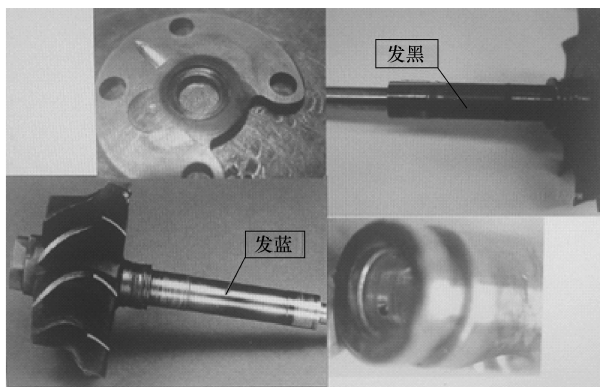


图 9-17　涡轮增压器缺机油烧蚀零部件

3）及时保养和更换空气滤清器滤芯。LNG 载货汽车切不可在进气系统损坏的情况下继续运行。

4）LNG 载货汽车起动后，发动机应在怠速转速下空负荷运行 3 ~ 5min，使润滑油压力和冷却液温度升高并稳定后才能加载，否则，会因增压器缺机油高速旋转，造成增压器轴承润滑不良而严重磨损甚至烧毁。

5）LNG 载货汽车停车时，由于增压器转子旋转具有一定惯性，所以发动机不要立即熄火，应怠速运转 3 ~ 5min，以使增压器转子的温度和转速逐渐下降。若立即停车熄火，会使发动机机油压力下降，涡轮增压器转子惯性旋转时得不到润滑而损坏。

6）在寒冷的环境下，润滑油道中的机油粘度还很高时，LNG 发动机也不能突然提高转速和增加负荷，以防止增压器旋转零部件，在还没有形成润滑油膜，不能保证其润滑要求的情况下工作。

7）LNG 载货汽车运行时，应经常注意涡轮增压器有无异常响声及振动，如有异常，应立即到维修站进行检查。

（5）经验检测涡轮增压器的故障方法　除了上述故障的检测、分析方法外，若 LNG 载货汽车涡轮增压器有故障迹象，可将汽车停车熄火，不必拆下涡轮增压器，采用下述经验判别方法，对涡轮增压器进行检测。

1）首先用手转动涡轮转子轴几下，正常的涡轮增压器应转动灵活、无卡滞现象，叶轮和壳体无碰擦，涡壳或叶轮完好无损，压气机端或涡轮端无漏油现象。反之，则可初步判定为有故障。

2）从压气机口处查看压气机叶轮是否有损坏现象，或者压气机叶轮与涡壳有无摩擦的痕迹，从而判明涡轮增压器是否已经损坏。

3）检查叶轮径向间隙，如图 9-18 所示。用手握住压气机叶轮轴端，轻轻向上抬，凭手感判别叶轮轴有无径向松旷现象。也可用塞尺塞进叶轮边缘与涡壳体间，根据塞尺的规格，确定最大间隙、最小间隙，即可以测量出径向间隙。如径向间隙大于设计要求，则可判明涡轮增压器存在故障。

4）检查叶轮轴向间隙。用手握住压气机叶轮轴端，用力向外和向内移动压气机叶轮轴，用千分表测量轴向移动变化量，即可以测量出轴向间隙。如轴向间隙大于设计要求，则可判明涡轮增压器存在故障。表 9-2 是某系列涡轮增压器叶轮径向间隙和轴向间隙。

5）也可以在 LNG 载货汽车不停车时，仔细聆听涡轮增压器旋转的响声，若随着涡轮增压器转速的变化，涡轮增压器发出尖锐的响声，或者响声发生骤然的变化，则说明涡轮增压器存在故障。

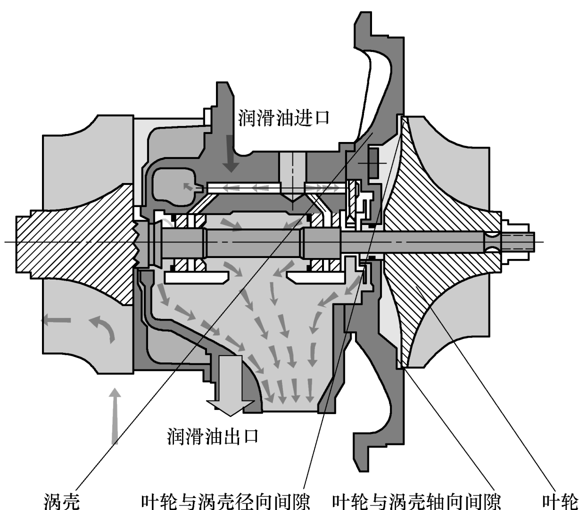


图 9-18　涡轮增压器叶轮径向、轴向间隙

涡轮增压器的空气滤清器阻塞，使吸气损失增大，会造成增压压力不足。通常情况下，应定期保养空气滤清器。干式空气滤清器在使用 100h 后，应清洁一次滤芯。

表 9-2　涡轮增压器叶轮径向间隙和轴向间隙　（单位：mm）

涡轮增压器型号	T25	T4	T45
叶轮径向间隙	0. 094 ~ 0. 130	0. 106 ~ 0. 145	0. 120 ~ 0. 168
叶轮轴向间隙	0. 043 ~ 0. 081	0. 051 ~ 0. 086	0. 079 ~ 0. 119

要注意定期对涡轮增压器进行冲洗，对内支承式的中、小型涡轮增压器，可以拆下压气机壳进行气道冲洗。

除此以外，LNG 发动机气门间隙调整值、点火时间、进排气门关闭时刻以及进排气门积炭等因素，也会造成进气不足、排气不彻底、燃烧不充分，而使 LNG 发动机动力性下降。发动机出现动力不足现象以后，一定要根据故障的特征，认真分析故障的模式，准确判明故障产生的原因，才能有效地排除故障。

三、发动机供气量不足的原因

LNG 是经热交换汽化后形成气态天然气，发动机供气量不足除了与气体压力有关外，主要还与 LNG 加热后，汽化成气态天然气的能力有直接关系。为了满足 LNG 发动机燃烧时所需要的供气量，汽化器流量的选配应参考 LNG 发动机的额定功率。

从 LNG 汽车燃烧做功的特性看，LNG 载货汽车在承载标准载荷的情况下，其动力性与柴油载货汽车基本相当，瞬时超载能力稍差于柴油载货汽车（低一个档），但是，其动力性能完全可以满足载货汽车的要求。

LNG 载货汽车设置有检测供气流量大小的燃气计量阀，如图 5-1 所示。燃气计量阀可计量进入发动机燃烧气体流量的多少。而进入发动机气体流量的多少，又往往是根据 LNG 载货汽车在运行中，运载负荷对发动机动力的要求确定的。LNG 汽车动力性差，就意味着进入发动机可燃烧的 LNG 流量不足，供气压力较低。发动机供气量不足故障的分析、判断和处理表现为：

（1）故障表现形式　在标准承载情况下，平坦路面行驶时，汽车加速无力，在上较长距离的坡时，比同类型柴油载货汽车低两个以上档位，才能缓慢行驶上坡。

（2）故障分析判断　汽车在标准承载情况下，动力出现大幅度下降，主要是发动机燃烧发出的有效功率减小，而发动机功率减小的原因，则是发动机由于燃气不足，燃烧时发出的热效率低。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）汽化器流量小（能力不足）。由于LNG经汽化后转化为气态，实际上是一个将LNG加热汽化的过程，这种汽化能力的大小，直接影响供气流量的大小。

2）LNG载货汽车过冷。汽化能力与发动机的冷却液温度成正比，发动机冷却液温度越高，汽化效果越好，气态天然气流量越充足。但是若燃气温度较高，单位体积的气体密度又会有所减小，也会造成供气量不足的现象。

3）供气压力较低。供气系统压力越低，供气流量就越小。

4）漏气（压力降低）。供气系统漏气后，其压力会有所下降，随着压力的降低，供气流量也会有所减少。

5）管路堵塞。管路折叠、折弯多且弯曲半径小，管路过长、堵塞等都会造成管道阻力较大，致使供气流量较小。

供气管路每隔400mm应设置固定管夹，否则供气管路会发生振动或者共振，气体流动不稳定，也会影响供气流量。

6）汽化器位置低于散热器。如图9-19所示，若汽化器位置高于散热器，会造成从发动机流入汽化器的热水流量减少，严重时甚至会造成汽化器结冰冻坏汽化器，导致LNG汽化能力大大降低，供气流量减少。

注意：汽化器应尽可能安装在靠近发动机和振动较小的地方，使汽化器至散热器、汽化器至发动机的连接水管尽可能短，以减小管路的流程阻力损失，减少汽化器加热水管热量损失，保证LNG汽化能力。

7）汽化器回水管与膨胀水箱回水管抢水。现在很多重型载货汽车，汽化器水管与膨胀水箱水管用三通管串联在一起后流回发动机进水管，如图9-20所示。若三通回水总管的水流量小于汽化器回水流量和膨胀水箱回水流量之和，这时，就会出现汽化器回水不畅，回水倒流，膨胀水箱回水抢走汽化器回水的状况（形成抢水现象），造成汽化器水流量减少、汽化能力不足。



图9-19　汽化器位置

为避免抢水，将汽化器水管与膨胀水箱水管的三通管回水总管直径加大，使三通管回水总管截面积大于汽化器回水管与膨胀水箱回水管截面积之和，如图9-20、图9-21所示。



图 9-20　汽化器水管与膨胀水箱水管



图 9-21　三通管回水总管

汽化器是一种水浴蛇管式热交换器，LNG 在气瓶的压力作用下进入汽化器内部螺旋盘管，利用汽化器夹套中的发动机冷却液作为加热介质加热 LNG。LNG 和冷却液的流动方向是并流。

低温的 LNG 储存在汽化器内部的螺旋盘管中，LNG 在汽化器里经 LNG 载货汽车散热器的冷却液加热、汽化成温度适宜的气态气体供给发动机。而螺旋盘管外部是作为热交换器的壳体，与 LNG 载货汽车散热器的冷却系统相连，形成闭合的回路，保证流动的冷却液不会泄漏。

选择汽化器的流量应本着够用即可的原则，切不可选择流量过大的汽化器。因为选择过大流量的汽化器，汽化器内用于热交换的螺旋管路长度增加，可能会导致汽化流程阻力增加，影响 LNG 气瓶最低使用压力。

第二节　LNG 载货汽车供气压力故障的判别处理

在 LNG 供气系统中，气体会随着 LNG 发动机工作温度或者环境温度的变化，压力也会出现升高或者降低。压力超过供气系统的限定压力后，则会通过放空供气系统的气体来降低供气系统压力。压力过低则可以通过增压的方式来提高供气系统的压力，因此供气系统的故障也与气体放空、增压、压力调整等因素相关。

气体压力过高或者过低，都会因 LNG 气体密度降低，发动机燃烧热效率下降，从而影响 LNG 载货汽车的正常运行。

一、供气压力较低

LNG 载货汽车供气系统的 LNG 气瓶内，只要储存有 LNG，就会形成压力。这种压力会随着外界环境温度的降低而下降，也会随着气瓶的保温隔热能力下降而升高。同时还与经济调压阀是否完全关闭或者设定值太低（低于发动机供气压力值、供气系统饱和压力太低）、

供气系统泄漏等有关。

（1）故障表现形式　发动机动力不足、气瓶上压力表显示压力低于发动机供气系统要求工作压力值。

（2）故障分析判断

1）经济调压阀是否完全关闭。经济阀关闭不严会造成经济阀的压力控制失效，气瓶的压力低于发动机要求的工作压力。

2）经济阀设定值太低（低于发动机供气压力值）。为了保证 LNG 发动机的正常工作，要求供气系统的压力高于 LNG 发动机工作压力 0. 05 ~0. 10MPa。

若经济阀关闭不严，或者经济阀设定压力值太低（低于 LNG 发动机供气压力值），均会出现气瓶的压力低于 LNG 发动机工作压力，从而不能保证气瓶供给 LNG 发动机的工作压力要求。

3）供气系统饱和压力太低。饱和压力分高饱和压力和低饱和压力两种，以发动机工作压力为起始点区分高饱和压力和低饱和压力，此时所对应的温度即称为饱和温度。下面以广西玉林柴油机股份有限公司 LNG 发动机为例，判别高饱和压力和低饱和压力及其所对应的饱和温度，如图 9-22 所示。

LNG 高饱和状态：LNG 的饱和温度达到或者接近发动机要求的进气压力所对应的 LNG 饱和温度。

例如：YC6M340-40 LNG 发动机的高饱和状态，0. 86MPa 对应的饱和温度为 -137℃。

LNG 低饱和状态：LNG 的饱和温度明显低于发动机要求的进气压力所对应的 LNG 饱和温度。

例如：YC6M340-40 LNG 发动机的低饱和状态，0. 2MPa 对应的饱和温度为 -152℃。

从 LNG 载货汽车饱和曲线（图 9-22）可看出，要达到饱和状态 0. 86MPa 的工作压力，就必须提高饱和温度（-137℃）。目前，载货汽车常采用自增压的方式来提高饱和温度（自增压工作原理如图 9-23 所示），从而达到饱和压力的目的。

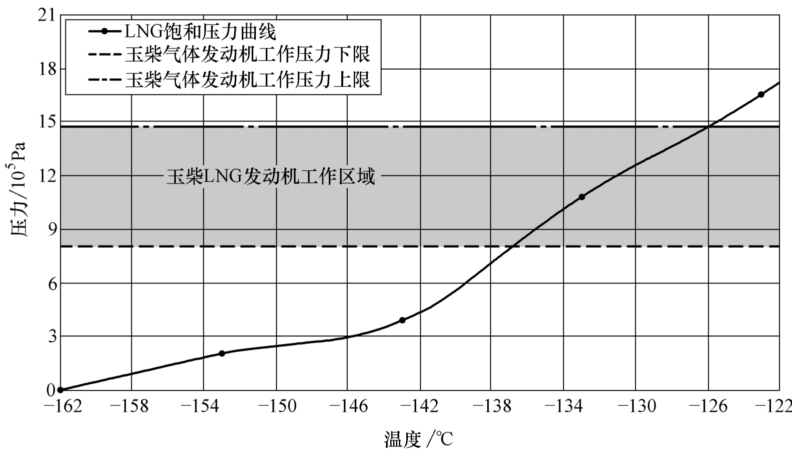


图 9-22　LNG 载货汽车饱和曲线

LNG 的饱和温度随饱和压力升高而增高，密度随饱和压力升高而降低，汽化潜热随饱和压力升高而降低。

高饱和状态 LNG 能保证发动机燃烧时所需的供气流量，供气压力稳定。
低饱和状态 LNG 发动机燃烧时所需的供气流量不可控，供气压力不稳定。

4）供气系统泄漏。由于供气系统出现漏气，使供气系统无法形成一个封闭的空间，因此，压力达到一定值后，部分零部件密封性能失效，就会产生泄漏。泄漏后，系统压力值达不到发动机工作压力要求。

5）稳压器压力低。当供气系统的压力低于发动机的工作压力要求时，应检查稳压器的工作压力设定值有无变化，或者稳压器是否失效。

（3）产生故障原因及检查排除故障

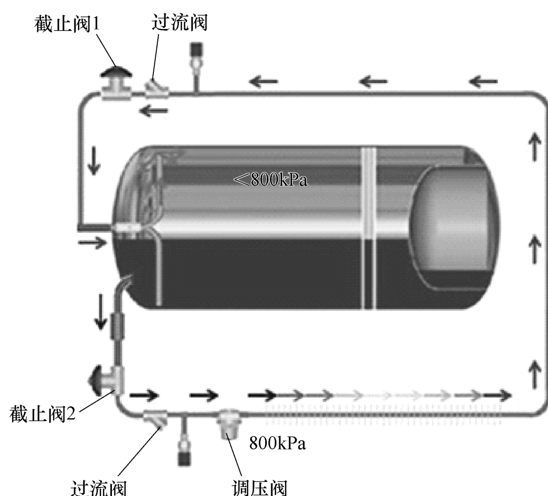


图 9-23　自增压工作原理

1）检查汽化器流量，检查汽化器进出水接头与进出气接头连接。按发动机功率要求重新匹配汽化器流量，同时，保证汽化器进水接头连接与汽化器进液接头同向、汽化器出水接头连接与汽化器出气接头同向，连接方式可参见图 9-7。

2）检查经济调压阀关闭状况。将经济阀关闭到位，如果失效则进行更换，以保证气瓶的压力达到发动机要求的工作压力。

3）检查经济阀设定压力值。将经济阀设定压力值调整到高于发动机要求工作压力 0.05 ~0.10MPa。

4）供气系统饱和压力。用自增压方式，提高气瓶自增压饱和压力及相应的饱和温度，达到满足发动机工作压力的目的。

5）供气系统泄漏。根据漏气报警器的报警点显示或者采用肥皂水查出漏气点，检查漏气的原因。若是管接头松了，则需拧紧管接头，若拧紧管接头仍然漏气，可在漏气管接头螺纹处缠绕 -220 ~ -200℃的低温生胶带。若拧紧管接头或者缠绕低温生胶带后还是出现漏气，此时就该更换管接头。

6）稳压器压力低。稳压器防退锁紧螺母松动，导致稳压器调整螺杆位移，稳压器调整压力发生变化。检查稳压器是否失效和锁紧螺母松动情况，视情况更换稳压器或者重新锁紧螺母，将稳压器的工作压力重新调整至高于发动机工作压力值 0.05 ~0.10MPa。

气瓶压力设置较低时，加气容易，但安全阀放空频率较高，且由于气瓶压力低，发动机无法正常工作。同时，因为气瓶排放泄压，耗气量也会有所增大。

二、供气系统压力增高的原因

一般情况下，LNG 载货汽车供气系统气瓶内的压力，会随着气瓶里 LNG 储量的减少而所减小，但是气瓶里的气体饱和压力，会随着外界的环境温度增高而升高，同时还与经济阀设定压力值的高低，经济阀失灵、损坏，充加 LNG 过量，充加 LNG 压力设定值的高低等因

素有关。

（1）故障表现形式　气瓶上压力表显示压力值接近或者达到安全阀启跳压力 1.59MPa 时，气体会不断从放空口排出。

（2）故障分析判断

1）环境温度增高使气瓶压力升高。当 LNG 汽车连续在烈日下运行，或者停放在高温环境地方时，气瓶被加热的热量传递到气瓶内胆，形成高温饱和温度而产生高温饱和压力，气瓶压力增高。

2）气瓶的隔热性能降低使气瓶压力升高。当 LNG 气瓶的隔热性能降低后（真空密封性能下降），气瓶外壳的热量被传递到气瓶内胆，形成高温饱和温度产生高温饱和压力，气瓶压力增高。

3）经济阀设定压力值过高使气瓶压力升高。经济阀设定压力值比稳压器高 0.05 ~ 0.10MPa，若经济阀设定压力值较高，气瓶内会形成较高的压力，容易达到一级安全阀的限定压力而起跳排空降低压力。

4）经济阀失灵、损坏。经济阀失灵、损坏，就意味着气瓶的压力升高失去控制，致使气瓶的压力长期处于失控，或者在高压力状态下工作，一旦压力达到一级安全阀的限定压力后，就会起跳排空降低压力。

5）充加 LNG 过量。为了保证气瓶必要的膨胀空间，规定液化气充加量不得大于气瓶额定容积的 90%。若充加 LNG 过量，就会减小气瓶的汽化膨胀空间，致使气瓶受热传递液相转化成气相后，储存空间减小，造成气瓶的压力升高。一旦压力达到一级安全阀的限定压力后，就会起跳排空降低压力。

6）充加 LNG 设定值过高。充加 LNG 时，若压力设定值过高，也会使气瓶的压力升高，达到安全阀限定的压力后，就会起跳排空。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）环境温度对气瓶压力的影响。尽量避免 LNG 载货汽车长期、连续在烈日下运行。在 LNG 载货汽车不工作时，应将 LNG 载货汽车停放在通风阴凉的地方，尽量减少外界的热量辐射气瓶，从而避免气瓶由此而产生的高压力。

2）气瓶的隔热性能降低。当气瓶的隔热性能降低后（气瓶的密封性能下降），外界环境温度对气瓶的热量很容易传递到气瓶的内胆，从而使气瓶的压力升高。出现这种情况，就必须检查气瓶的密封是否失效。

直观检查气瓶是否泄漏：气瓶的外壳在内部超压条件下的保护是通过一个环形的抽空塞来实现的。如果内胆发生泄漏，导致真空破坏，这时可以发现外壳“冒汗”，大面积结水珠，甚至结霜现象。当然，在与气瓶连接的管道末端出现结霜或凝水现象是正常的。当气瓶里的 LNG 与加气站的 LNG 温度差较大时，在充装液体时压力上升也较快，这种现象属正常。

一旦出现气瓶密封失效，应立即停车到特约服务站或者气瓶生产厂进行维修。

3）经济阀设定压力过高。经济阀出厂时已经调好压力，原则上不能自已调节，在使用中若调节锁紧螺母松动，会出现调节螺杆自动松退的现象，导致经济阀的压力出现变化。

当出现这种情况时，检查经济阀螺杆螺纹是否损坏，若没有损坏，只需重新将经济阀调整至规定的压力，锁紧螺母即可。

4）经济阀失灵、损坏。经济阀内部的密封件（阀体）比较脆弱，燃气介质中有些杂质就会对其造成损坏，久而久之会造成内部通孔过大，不能起到调压的作用。具体现象就是怎么调压力都降不到理想的位置。若燃气介质很干净，失效的时间可能达十年。如杂质比较多（比如新的管路），则可能在很短的时间内，经济阀就会损坏失效。经济阀的结构如图 9-24 所示。

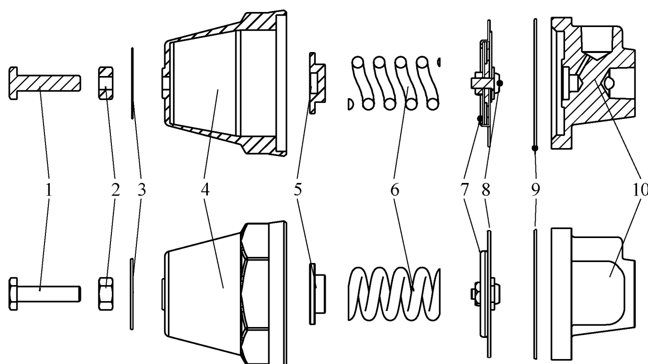


图 9-24　经济阀结构示意

1—调节螺杆　2—锁紧螺母　3—铭牌　4—阀盖　5—弹簧上垫块　6—弹簧
7—压环　8—弹簧下垫块组件　9—垫片　10—阀体

5）经济阀泄漏的处理。以图 9-24 所示的经济阀结构示意为例，来说明经济阀泄漏的处理。

① 如果泄漏发生在阀盖 4 和阀体 10 的连接处，拧紧阀盖 4。如果继续泄漏，拧下阀盖 4，然后取出能够取出的部件，更换垫片 9，按照拆卸逆顺序装配回原状（注意维修过程中不要调整调整螺杆 1，否则设定压力会变化）。

② 如果阀盖 4 上的小孔有漏气现象，说明弹簧下垫块组件 8 上的膜片已经破损，拧下阀盖 4，然后取出能够取出的部件，更换膜片（共 3 张），按照拆卸逆顺序装配回原状（注意：维修过程中不要调整调整螺杆 1，否则设定压力会变化）。

③ 如果泄漏发生在进、出口处，用生料带缠绕与阀体 10 相连部件的螺纹（注意：不要让生料带进入）。

当气瓶内的压力高于经济阀设定压力时，气瓶内的气体通过经济阀供给发动机，从而降低气瓶内的压力。

6）充加 LNG 过量。LNG 气瓶规定充加 LNG 量不得大于气瓶额定容积的 90%。有的用户为了提高续驶里程，超过规定充加 LNG，减小了气瓶的汽化膨胀空间，当气瓶受热传递液相转化成气相后，储存空间减小，造成气瓶的压力升高。

7）充加气压力设定值过高。这种情况在槽车或者 LNG 汽车相互倒气时常有发生。在充加 LNG 时，若充加气汽车的压力值过高，也会使气瓶的压力升高。

三、气瓶排空气体释放的原因

实际上气体放空、增压、压力调整是一种正常现象，不属于故障。但是很多初使用者往往将气体排空误认为是一种故障。本节在进行供气压力故障分析的同时，对气体放空、增压、压力调整也将进行详细的分析、介绍，让读者对其有充分的了解，以提高正确操作、使用的基本技能。

随着环境温度变化，气瓶内压力也会随之变化，环境温度增高，外界的热能不可避免地会传递给气瓶，如图 9-25 所示，以致气瓶内的 LNG 会产生汽化的过程。随着汽化量的增加，气瓶内的压力也会不断提高，当气瓶内压力达到一级安全阀的限定值时，一级安全阀打开，气瓶内汽化后的天然气就会从一级安全阀排出，气瓶内的压力随之就会下降，这种气体排出，被称为排空。

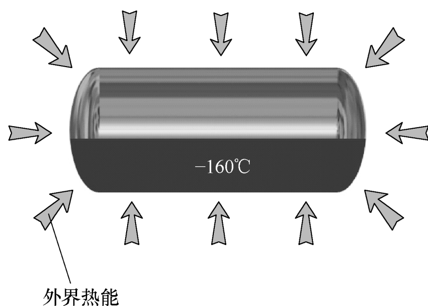


图 9-25　气瓶热传递

为避免气瓶内压力升高而排空释放气体，减小气瓶气体的无谓消耗、浪费，要求气瓶绝热密封性好，避免外界热量传递到气瓶内胆、加速 LNG 的汽化而造成压力上升。

（1）排空表现形式　这种情况一般在汽车停止运行时间较长，或者汽车在高温地区行驶时发生。随着环境温度的不断升高，供气系统压力也会不断增高，当气瓶内的压力增高至一级安全阀的限定压力 1.59 ~ 1.75MPa 时，大量汽化后的气体会从一级安全阀的排空口经引气管口排出，如图 9-26 所示。

（2）排空产生原因　供气系统气瓶内压力通过气体流量的释放，达到降压、调压的过程，这属于正常现象。

注意：在排空气体密集处附近切忌有易点燃着火的火源，否则容易引起燃烧、爆炸等不安全的事故发生。

当压力接近或者达到排空气体压力时，应将 LNG 载货汽车行驶（停放）在良好通风的环境处，保持 LNG 载货汽车周围空气的流通，降低排空出来的气体密度，以减少着火燃烧、爆炸的条件和可能性。

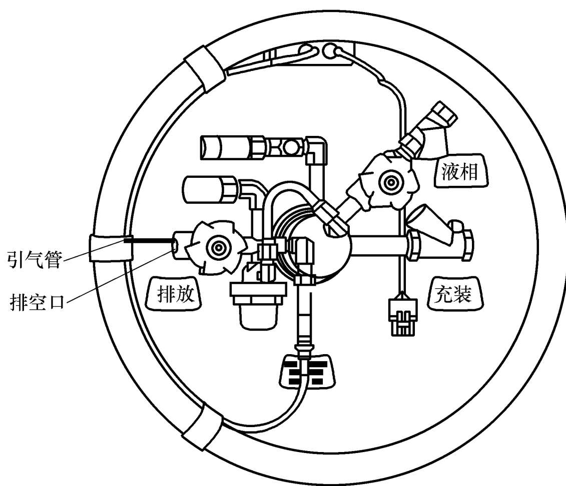


图 9-26　气瓶排空口

（3）故障表现形式　汽车停放一段时间后，会从气瓶放空口处排出气态气体，伴随着气体的排出，同时会发出“吱吱”的响声。

（4）故障分析判断　出现这种情况的原因是气瓶的压力升高到超过一级安全阀的限定压力值，气瓶中被汽化后的天然气气体才会从气瓶放空口处排出，从而保护气瓶的压力不超出气瓶限定的爆炸压力，同时满足发动机限定的工作压力要求。

（5）产生故障原因及检查排除故障

1）环境温度高温影响。LNG 载货汽车长期停放在高温环境温度下，LNG 气瓶外筒吸收环境高温热量后，通过保温层传给气瓶内胆，致使气瓶里的 LNG 产生汽化，压力不断升高，达到排空压力后产生排空。

2）充加 LNG 过量。LNG 载货汽车充加气时，超过规定充加 LNG，由于充加气和气瓶里的 LNG 温度差会产生气相转变，减小了气瓶的汽化膨胀空间，造成气瓶的压力快速升高，达到一级安全阀的限定压力值后而放空。

3）充加气设定值过高。若在充加 LNG 时，充加 LNG 气站、充加 LNG 气槽车的压力值过高，极易达到排空压力限值。出现这种情况属于正常现象，可通过排空来达到调节气瓶压力的目的。

在排空过程中，若压力表的压力升高超过排空压力值，而气瓶又未排空，则表明安全阀失效，此时应及时更换安全阀，否则，极易因为压力持续升高超过气瓶额定压力限值而出现不安全的事故。

值得注意的是，在排空气体密集处附近切忌有高温、火焰，否则极容易引起燃烧、爆炸等不安全的事故发生。

为了保证放空气体能安全排出，避免引起着火燃烧的不安全事故，侧置气瓶排气放空引气管应当引向车尾或者驾驶室顶部。图 9-27 所示是单侧气瓶排气放空引气管设置在 LNG 载货汽车尾部，这样在汽车行驶时若出现排空气体，易于随着汽车行驶中产生的气流，将排气放空气体吹散，不容易达到着火燃烧或者爆炸的气体密度。由于排气放空引气管在汽车尾部，而消声器尾管在汽车的中部，这样即使消声器冒出火星，也不能点燃排空时的天然气体，保证了 LNG 载货汽车排空的安全。

后置双气瓶则可以将排气放空管引向 LNG 气瓶框架的顶部。图 9-28 所示是双后置气瓶



图 9-27　侧置单气瓶放空引气管

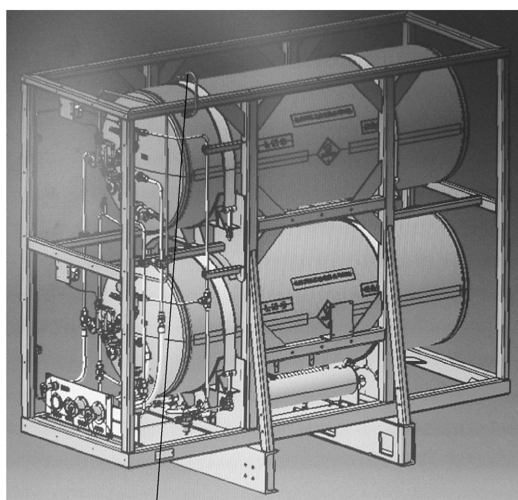


图 9-28　后置双气瓶放空引气管

引气管引向 LNG 气瓶框架顶部，这样在汽车行驶时若出现排空气体，易于随着汽车行驶中的气流被吹散，不能达到着火燃烧或者爆炸的气体密度。由于引气管在 LNG 气瓶框架顶部，接近汽车顶部，而消声器尾管在汽车的中下部，这样即使消声器冒出火星，天然气与火星也相隔较远，不能点燃排空时的天然气，保证了 LNG 载货汽车排空的安全。

放空管用不锈钢管或者铜管制成，管径大于进液管内径（进液管内径一般为 $\phi8$ ~ $\phi10$mm，放空管的内径一般不得小于 $\phi10$mm），以满足放空排气的需要。

（6）排气放空管的安装

1）排气放空管的排出方向应当与气管垂直方向呈 90°（即朝向水平方向），或者 45°朝下，如图 9-28 所示。

2）排气放空管口如果垂青向上，则应当有防雨措施，尽可能避免水或者灰尘进入管路，防止灰尘、雨水低温结成冰块堵塞放空管路，造成天然气无法排气放空。

3）排气放空管路应当设置在汽车的后部或者顶部，以远离消声器火星，同时便于汽车行驶中产生的气流吹散排空的气体，降低排空气体密度。

4）设置排气放空管路时，要注意避免汽车行驶中路上的积水飞溅到排气放空管，形成冰堵堵塞放空管。

5）排气放空管应采用金属管，金属管的熔点不能低于 820℃。

6）排气放空管的内径不得小于进液管路及安全阀的最小内径。

7）排气放空管应固定牢固，两固定装置间的最大距离不应大于 1000mm。

8）排气放空管的管口排出方向不能直接朝向气瓶、发动机排气管、汽车的发动机舱以及汽车的任何其他零部件。

在液化气加气站充加气，排空方法有两种：

1）一般是通过气瓶排空口，将气瓶排出的气体回收到加气站内，可以作为工业或者民用生活燃气使用。

2）或者通过气瓶排空口，将气瓶排出的气体直接排向大气。排向大气时，必须设置一适当的放空集管，直接将天然气引向高空放空。

应当注意：排空周围不得有烟火，不得使用手机、明火和使用非防爆的电气设备。

四、供气系统压力的调节方法

当供气系统的压力值偏离供气系统要求的设定压力值时，就需要对供气系统压力进行调整，以避免超出发动机正常工作压力限定值。

供气系统压力的调整是通过稳压阀来实现的。稳压阀是供气系统供给发动机进气压力的关键部件，它的进口端接汽化后输来的气体管路，出口端接通往缓冲罐至低压电磁阀的管路。发动机工作时，压力设定为高于发动机工作压力要求 0.05 ~0.10MPa（与气瓶内压力相同），当稳压阀的压力高于其设定值或者出口压力值过低，而稳压器调整螺母又紧固良好没有松退，就说明稳压阀已经损坏，应立即修理或者更换。

稳压器的主要作用：当气瓶内液体温度升高，气瓶最高压力可能超过 1.6MPa，而发动机最高使用压力为 1.38MPa，超过该压力可能导致电控调压器失效、发动机无法起动、发动机游车、催化器烧结等故障。所以在汽化器和低压电磁阀之间安装一个稳压器，通过稳压器的减压作用，使供气压力降低至低压电磁阀的工作压力范围内，以保证进入发动机的天然气

符合发动机工作压力要求。

（1）故障表现形式　发动机动力不足，稳压器压力表显示压力低于设定压力值时，就需要通过调整稳压器来保证供气系统的压力。

（2）故障分析判断

1）稳压器锁紧螺母松退。稳压器的锁紧螺母松退，调节螺杆退出，稳压器压力不稳定失去控制。

2）稳压器失效。稳压器压力波动，无法将压力控制住，导致进气压力过低，加速时流量较小，导致加速无力。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）稳压器锁紧螺母松退。当出现稳压器锁紧螺母松退的现象时，就要仔细检查稳压器的调节螺杆、锁紧螺母有无损坏，如果调节螺杆、锁紧螺母没有损坏，则只需重新调整稳压器并拧紧锁紧螺母。若锁紧螺母损坏，就需要更换螺母重新调整；如果稳压器调节螺杆上的螺纹损坏，就必须送到专门维修稳压器的维修站进行修理，或者更换新的稳压器。

2）稳压器失效。在载货汽车运行中，载货汽车出现动力一会高、一会低的现象，就说明稳压器压力波动，无法将压力控制住，此时就应检查调节锁紧螺母有无松动现象。若没有松动现象，则说明稳压器的压力控制零件失效，此时，就必须更换稳压器。

（4）稳压器调整

1）稳压器调整要求：发动机运转时调整至（瞬态）高于 $0.86^{+0.1}_{0}$ MPa。

2）稳压器的调整方法。

① 关掉供气系统至发动机的截止阀，将发动机低压减压阀处的管接头松开 1 ~ 2 圈，放空压力气体，此时稳压器表上的压力很快会归至零位。

② 然后将发动机低压减压阀处的管接头旋紧，打开供气系统至发动机的截止阀，稳压器表的压力很快上升至稳压器调整压力值。若此时稳压器表上的压力未达到发动机正常工作压力，就需要对稳压器进行压力调节。

③ 观察稳压器压力表，确定调整的压力值，计算需要转动调节的圈数。

④ 调高压力。松开稳压器的锁紧螺母，顺时针旋转调节螺杆，边旋转调节螺杆边观察稳压器的压力表，拧动一圈供气系统压力略升高 0.2MPa。调整至发动机要求的压力时，再拧紧锁紧螺母，如图 9-29 所示。

⑤ 调低压力。松开稳压器的锁紧螺母，逆时针旋转调节螺杆，边旋转调节螺杆边观察稳压器的压力表，拧动一圈供气系统压力略降低 0.2MPa。调整至发动机要求的压力时，再拧紧锁紧螺母，如图 9-29 所示。

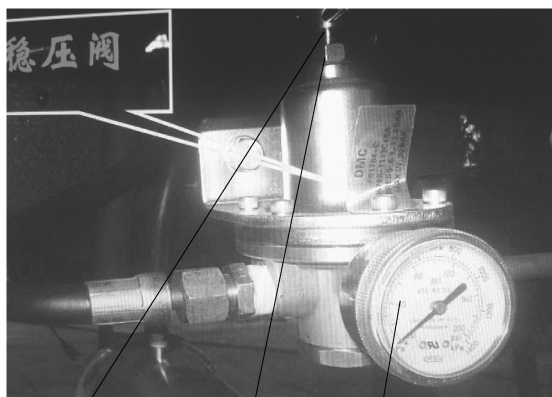


图 9-29　供气系统压力调整

（5）稳压器的维修安装要求

1）稳压器出口必须安装一个压力表，如图 9-29 所示，以监测稳压器出口压力。

2）稳压器需安装牢固，并有减振措施。

五、耗气量过高故障的判别处理

LNG 载货汽车的耗气量，与 LNG 载货汽车车况、载货量、行驶路况以及驾驶人操作水平有很大的关系。LNG 载货汽车的经济性能是指 LNG 载货汽车在正常工况，在额定载货情况下百公里所消耗的燃气量。

LNG 载货汽车耗气量高的表现特征不同于柴油载货汽车、汽油载货汽车，柴油载货汽车耗油量高会出现冒黑烟现象，汽油载货汽车耗油量高会出现刺鼻、刺激喉咙的现象，而 LNG 载货汽车耗气量高，则只能通过耗气量的测评与对比来判别。一辆 LNG 载货汽车在各部分零部件正常情况下，若耗气量超过正常行驶百公里耗气量的 5% ～10%，则视为耗气量高。一般情况下，LNG 载货汽车比同样柴油载货汽车可节约燃料费用 30% ～40%。

（1）故障表现形式　LNG 载货汽车续驶里程比正常行驶里程短，行驶途中气瓶里的 LNG 提前用完。

（2）故障分析判断

1）供气系统压力低。若 LNG 载货汽车供气系统压力低，会造成发动机动力不足，以致驾驶人用猛踩加速踏板的方式来提高动力，这样就造成了燃气耗增大。

2）经济阀压力过高。正常情况下，经济阀的设定压力比发动机进气压力高 0.05 ～0.10MPa，若经济阀压力过高（高于一级安全阀排空压力限值），会导致气瓶内气体频繁排空，同时，若气瓶内压力过高，达到一级安全阀排空压力限值后，气瓶内的气体就会从排空口排出，造成气体浪费，增大燃气耗。

3）供气系统漏气。供气系统漏气直接导致燃气耗增加。

4）混合器失效。LNG 气体与过滤后的洁净空气混合比变浓，造成发动机燃烧不充分，从而增大了燃气消耗。

5）点火提前角发生变化。发动机混合气燃烧不完全，造成燃气耗增大。

6）传感器失效。冷却液温度传感器、进气压力传感器和氧传感器等失效，导致 ECU 无法精准地控制喷气量，造成发动机燃烧不好，增大燃气耗量。

（3）产生故障原因及检查排除故障　除此之外，LNG 载货汽车在运行中，下列因素也会造成天然气耗增高。

1）点火系统、燃烧室积炭。

故障原因：电子节气门、火花塞、火花塞套和燃气喷嘴积炭过多。图 9-30、图 9-31 所示是火花塞、进气道积炭的情况。出现这种情况会导致发动机燃烧不完全，造成气耗量增大。

排除故障：定期保养，消除各种零部件的积炭，保证电子节气门、点火系统、火花塞清洁。

2）进气道的积炭、污垢过多。

故障原因：进气道的积炭、污垢过多，影响到进气温度的采集准确性，使得控制单元无法精确计算发动机在不同转速下，燃烧时所需要的进气量，以致造成混合气过浓或过稀，使燃烧不正常或起动后发动机抖动。

排除故障：定期保养，消除积炭、污垢，保证进气道清洁。

3）怠速调整过高。



图 9-30　火花塞积炭

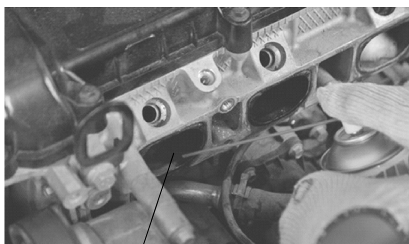


图 9-31　进气道积炭

故障原因：点火系统、高压线圈部分短路，触点烧蚀，电容器击穿，将造成高压火变弱，点火能力下降，部分混合气不能完全点燃而使燃气耗增大。

排除故障：按规定要求正确调整点火间隙，使点火系统处于正常工作状态。

4）点火能力下降。

故障原因：火花塞积炭过多，火花塞、火花塞套和个别高压线漏电，造成点火能力下降和发动机缺缸工作（个别缸不工作），使燃气耗增大。

排除故障：定期保养，清除火花塞、火花塞套积炭，排除高压线漏电现象。

注意：车辆每行驶 20000～30000km 时，即使未出现故障，也要定期清洗节气门、燃气喷嘴和进气道，同时检查燃烧室和火花塞的积炭问题。

5）气门关闭不严。

故障原因：在配气机构中，气门导管与气门、气门座圈与气门头部出现积炭时，会造成气门间隙过大或过小，达不到进气充分和排气干净的目的。同时，气门弹簧过软，气门、气门座圈烧蚀，也会使气门达不到理想的密封程度，如图 9-32 所示。出现这种情况会使气缸压力减小，发动机功率下降，LNG 发动机燃烧温度较高。

排除故障：正确调整气门间隙，更换气门弹簧，消除积炭，更换烧蚀的气门、气门座圈。

6）气缸密封性降低。

故障原因：随着发动机工作时间的增长，气缸孔、活塞和活塞环磨损加大，使密封性下降，如图 9-33 所示，造成发动机气缸工作压力降低，发动机动力不足，同时发动机燃烧室的混合气窜入曲轴箱，并从曲轴箱排入大气，致使耗气量增大。

排除故障：按规定保养，更换气缸套、活塞和活塞环，保证气缸孔与活塞和活塞环的配合间隙。

若是因空气滤清器滤芯破损或者有灰尘、泥土，导致气缸早期磨损，则必须更换空气滤清器滤芯或者保养空气滤清器。

7）活塞环对口。

故障原因：发动机在运行或者维修过程中，气环、油环开口重叠，如图 9-34 所示，燃气从活塞环开口对口重叠处窜入发动机曲轴箱，从而增大了燃气耗。

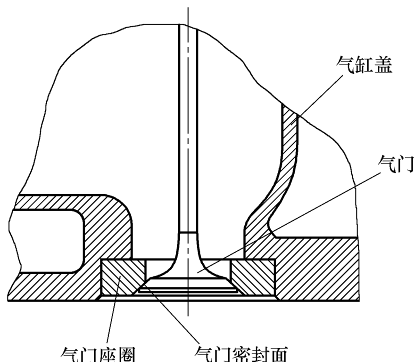


图 9-32　气门座圈密封

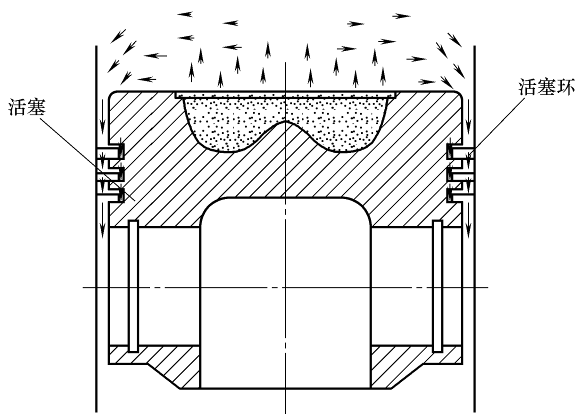


图 9-33　活塞环密封

排除故障：按规定保养，更换活塞、活塞环，保证气环、油环三道活塞环的开口呈 120°均布，保证活塞环开口配合间隙符合要求。

除此之外，燃气耗高还与下列因素相关：

1）行驶路况。在城市道路、县市区道路行驶时，不能提高车速，由于汽车无法在经济车速下行驶，而且制动频繁，会增大燃气耗。

2）天气状况。在雨雪、雾霾天气，由于汽车无法在经济车速下行驶，而且制动频繁，会增大燃气耗。

3）交通状况。由于在交通状况复杂的道路上行驶，如集市区、交叉路、红绿灯以及车流量拥堵等，也会由于汽车行驶速度低，制动频繁，会增大燃气耗。



图 9-34　活塞环对口

4）汽车的载重量。汽车超载会直接导致燃气耗增加。

5）发动机的排气量。LNG 载货汽车发动机超排量配置，会因为动力储备较大，浪费发动机的热效率发挥，从而增大燃气耗。

6）驾驶技术。驾驶人的操作习惯、驾驶技术（使用档位和某档位时的发动机转速）有差别，也会直接影响到燃气耗量的差异。

7）LNG 质量。因 LNG 的产地不同，它的质量、温度、密度和组分也会相应发生变化，LNG 的质量、热值也不同，汽车 LNG 燃气耗量也就不同。

气耗量高的原因主要是由于 LNG 的质量、热值较差而致。

第三节　LNG 气瓶真空度失效故障的判别处理

LNG 气瓶真空度失效，就意味着气瓶失去了保温作用，气瓶已经丧失或者部分丧失储存 LNG 的功能，无法达到储存 LNG 的低温条件，导致气瓶里的 LNG 由于温度高出现汽化排

空、泄放汽化后的气态天然气等现象。若不及时判明故障返修处理，将会造成 LNG 气瓶充加 LNG 后不断被汽化，气瓶的压力也会不断升高，气瓶无法正常使用，并会出现不安全的隐患。所以一旦气瓶真空度失效就应马上进行维修处理。

（1）故障表现形式

1）气瓶外壳“冒汗”或“结霜”。气瓶外壳“冒汗”和“结霜”如图 9-35 所示。当气瓶内胆的真空受到破坏，使绝热能力下降或失效时，瓶体会出现结霜或瓶内压力急剧升高等现象。

2）压力快速上升。过度的压力上升可以作为判断气瓶真空度失效的依据之一。

3）气瓶夹套压力上升速率加快。气瓶夹套压力以近 0.007MPa/min 的速率上升，这种压力的变化非常明显。

4）气瓶排空放气频率加快，不断地排空放气。



图 9-35　气瓶外壳“冒汗”或“结霜”

气瓶出现真空失效，只是 LNG 气瓶出现“结霜”现象的原因之一，除此以外，出现“结霜”现象的原因还有以下几点：

① 当气瓶管路出现泄漏时，在漏点也可能出现“冒汗”或“结霜”现象，这种故障属于漏气。若汽车出现漏气故障，应经过检修后再使用。

② 当汽车在行驶运行时，在气瓶头部阀门和管接头处会出现“冒汗”或“结霜”现象，这不是故障，而是一种正常现象。

③ 当环境温度过低或空气湿度过大时，也可能发生气瓶外壳“冒汗”或“结霜”现象，这不是故障，而是一种正常现象。

（2）故障分析判断

1）自然失效。随着气瓶使用时间的增长，气瓶材料材质，内、外层的焊缝均会发生改变，气瓶的隔热性能会有所下降，从而造成气瓶失效。

2）防爆堵塞（真空堵塞）松动。防爆堵塞（真空堵塞）被碰撞松动，造成真空失效，隔热性能下降。

3）真空失效检查。如果气瓶防爆堵塞（真空堵塞）未现异常，但又怀疑真空失效，就必须通过检查压力升高的时间来判断。在测试气瓶的压力升高时间时，首先为气瓶加气，然后起动汽车行驶运行，直到气瓶内的燃料还剩 3/4 或 1/2 时停止，此时气瓶内的压力在经济阀的控制下，维持在正常工作压力水平。车辆静置至少 12h，系统的压力升高率低于 0.27MPa/d 为正常，反之则认为气瓶真空失效，隔热性能下降。

需要注意的是：

1）热瓶首次充装或气瓶超量充装也会引起压力的急剧升高。

2）气瓶外壳，尤其是管路较为集中的部位，如气瓶支撑附近的温度比其他部位的温度低。外壳结霜或凝水与否取决于周围环境的温度和湿度。这种冷凝现象的存在并不能作为判断一个气瓶真空度存在与否的唯一依据，而气瓶压力升高率的测试，才是判断气瓶真空度失

效与否最可靠、有效的判断方法。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）自然失效。

故障原因：随着使用时间增长，气瓶材料自然失效，气瓶内、外夹层的密封性均会下降，气瓶的真空度也会产生失效和衰减。

排除故障：保持气瓶在良好的工作温度环境，尽量少在高温温度状况下工作，减小蒸发率，避免气瓶长期超高压工作。

2）防爆堵塞（真空堵塞）失效。

故障原因：防爆堵塞（真空堵塞）被碰撞松动，防爆堵塞（真空堵塞）盖被拆除后杂质、泥沙等污物进入防爆堵塞（真空堵塞），使防爆堵塞（真空堵塞）失效。

排除故障：避免防爆堵塞（真空堵塞）被碰撞松动，严禁拆卸防爆堵塞（真空堵塞）盖，保持防爆堵塞（真空堵塞）清洁。

3）车用气瓶真空度意外丧失。

故障原因：LNG 气瓶被撞击、气瓶紧固不好跌落等原因，造成气瓶外壳、各种阀门或者防爆堵塞（真空堵塞）等松动，出现真空度意外丧失。

排除故障：若真空度意外丧失，气瓶内的 LNG 会大量吸取外界的热量，从而使气瓶内压力急剧上升，LNG 气体体积膨胀，故应尽快小心地将气瓶内液态天然气排出，或卸到其他完好容器内。在条件许可的情况下，应尽快将损坏的气瓶转移到无明火、无易燃物以及无行人通过的场所进行紧急处理。在任何情况下，不可使 LNG 继续存留在真空丧失的气瓶内。

气瓶夹层（内壳/外筒）工作压力为 0.1～0.8MPa，当超过气瓶的工作压力时，防爆堵塞（真空堵塞）将被打开，气瓶夹层（内瓶/气瓶）的压力会泄放，以避免气瓶夹层（内瓶/气瓶）的压力升高，而造成不安全的事故。

4）气瓶阀门冻住。

故障原因：气瓶阀门上溅有水造成结冰，或者 LNG 载货汽车在寒冷地区低温环境下长期不工作，当 LNG 的低温传到阀门上时，产生结冰冻住阀门。

排除故障：若阀门冻住，应用清洁无油的水或热氮气解冻处理，严禁用手锤或其他物件敲击，以避免因敲击阀门造成瓶体外瓶损坏，产生泄漏或者产生真空度失效状况。

第四节 LNG 载货汽车安全系统故障的判别处理

LNG 载货汽车除了与柴油载货汽车、汽油载货汽车相同的转向、离合、制动等安全隐患故障外，其常见、特定的安全系统故障，主要表现在供气、燃烧系统出现的不安全因素。

一、压力表失效（显示压力过高或过低）故障的判别

供气系统压力表失效，将会使气瓶的压力失去监控，在 LNG 载货汽车行驶中，驾驶人无法及时了解汽车供气系统的压力变化，一旦安全阀失效，由于气瓶压力不断升高，气瓶将会出现不安全的隐患。

（1）压力表常见的故障

1）指针不动。

2）指针抖动。

3）指针在无压时回不到零位。

4）指示不正确，超过允许误差。

（2）压力表常见故障处理

1）指针不动。当压力升高后，压力表指针不动。其原因可能是因旋塞未开，旋塞、压力表连接管堵塞，指针与中心轴松动或指针卡住。

2）指针抖动。造成指针抖动的原因有被测 LNG 压力过大、气瓶振动较大，或者游丝损坏、旋塞弯管通道局部被堵塞、中心轴两端弯曲和轴两端转动不同心。

3）指针在无压时回不到零位。造成这种现象的原因有指针与中心轴松动、指针卡住或者压力表气管堵塞。

4）指示不正确，超过允许误差。这主要是弹簧管因温度过低而产生过量变形、齿轮磨损松动、游丝紊乱以及旋塞泄漏等原因造成的。

（3）压力表有下列情况之一时，应停止使用

1）指针距零位的数值超过压力表规定的允许误差。

2）表盘封面玻璃破碎或表盘刻度模糊不清。

3）封印损坏或超过校验有效期限。

4）表内弹簧管泄漏或压力表指针松动。

5）其他影响压力表准确指示的缺陷。

（4）压力表的安装 如果压力表需要远离气瓶安装，无论气瓶是何种布置方式，应当保证压力表朝向易于观察的方向和位置。压力表应安装牢靠，防止因为振动和装配不牢而松动，造成天然气从此处泄漏。

压力表的连接管采用奥氏体不锈钢无缝管或 T2-U 管。

二、LNG 载货汽车安全性保证（气瓶安全阀失效的判别）

安全阀都是采用弹簧伺服回位、渗漏型结构，当达到设定压力值时，LNG 的压力将压缩弹簧，逐渐打开阀芯排气泄压。安全阀在气瓶上的安装示意如图 9-36 所示。

（1）故障表现形式

1）气瓶压力表显示压力低于安全阀启跳压力，而安全阀会启跳。

2）气瓶压力表显示压力高于安全阀启跳压力，而安全阀不启跳。

3）安全阀启跳，气瓶泄压，气瓶压力表的压力降低后，气瓶继续放空而安全阀不能及时回位。

（2）故障分析判断

1）阀座泄漏。在 LNG 载货汽车正常行驶情况下，LNG 从阀座密封面（螺纹连接处）泄漏。

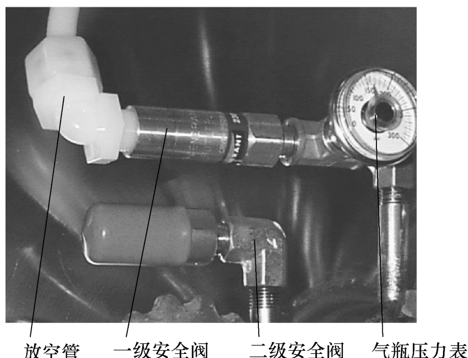


图 9-36 安全阀装配示意

原因主要是阀座密封面（螺纹）损坏或者安装时损伤螺纹副。

2）密封表面损伤。在 LNG 里有细微杂质，当 LNG 流经阀座密封表面时，细微杂质划伤密封表面。

3）阀座制造误差。阀门与阀门座同轴度、阀门与密封面垂直度误差较大。

4）相关零件变形。液化气的温度在 −162℃左右，在此温度下阀座、阀门、弹簧会产生变形而导致密封失效。

5）密封面附着异物。LNG 里的细微杂质粘附在密封面上导致密封不严。

6）运动零件卡滞。阀门长期在阀座内运动，不断地启闭阀门，时间长了会造成运动副、密封面出现损伤、卡滞。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）阀座泄漏。

故障原因：LNG 里的粉尘、杂质划伤阀座螺纹密封面，或者安装时损伤螺纹副。

排除故障：视情况缠绕耐低温生胶带，紧固螺纹副。

2）密封面损伤。

故障原因：密封面被 LNG 里的细微杂质划伤，或者两密封副在阀门长期开启、关闭工作过程中，密封面被撞击而产生失效变形。

排除故障：视检查情况更换安全阀总成。

3）安全阀座制造误差。

故障原因：安全阀座制造误差较大，经过短时间的阀门开启、关闭落座回位后，安全阀座出现失效变形。

排除故障：安全阀制造误差较大，更换安全阀总成。

4）相关零件变形。

故障原因：安全阀材料不能适应低温工作温度要求而失效变形。

排除故障：视检查情况更换安全阀总成。

5）密封面附着异物。清洗密封面，清除密封面上的杂质。

6）运动零件卡滞。

故障原因：阀门、阀座等零件由于 LNG 里的灰尘、杂质卡滞。

排除故障：视检查情况更换安全阀总成。

（4）拆卸、更换安全阀　关闭出液截止阀，松开安全阀连接螺纹 1 ~ 2 圈，放掉管路中的气体后，再拆卸安全阀，检查安全阀是否失效。

1）检查安全阀阀盖泄放孔是否封闭，如果这里发生泄漏，空气中的水蒸气会在弹簧处结冰而发生卡死现象。

2）检查 LNG 介质是否纯净、是否含有水分杂质。

3）检查弹簧是否失效、变形。

三、LNG 燃烧、爆炸基本条件

LNG 燃烧、爆炸会受到燃烧温度条件的限制，一般情况下出现燃烧、爆炸的可能性非常小，但是若一旦发生燃烧、爆炸，所造成的后果是非常严重的。只有了解 LNG 气体可能出现的故障隐患、产生隐患的原因，以及处理故障的方法，才能防患于未然，安全使用

LNG 载货汽车。

（1）故障表现形式

1）LNG 着火燃烧。此故障多发生在 LNG 载货汽车停止运行时，如 LNG 载货汽车停放在不通风的仓库时，因为汽车没有行驶运行，空气不流通，一旦发生 LNG 泄漏，很容易达到 LNG 燃烧、爆炸的条件。

2）气瓶爆炸。

① 气瓶碰撞。当 LNG 气瓶被碰撞时，气瓶内的 LNG 突然泄出，造成 LNG 迅速蒸发，剧烈的膨胀会产生猛烈的爆炸。

② 气瓶压力急剧升高，排空口也无法降压时，气瓶就会产生爆炸。

③ 泄漏 LNG 爆炸。

（2）故障分析判断

1）LNG 气体着火燃烧。LNG 燃点高达 650℃以上，而且 LNG 着火密度界限为 5%～15%，在没有达到此条件情况下，LNG 是不容易燃烧、爆炸的。若 LNG 载货汽车停放在封闭的仓库里时，一旦气瓶出现较为严重的泄漏，或者气瓶排空时，LNG 密度会升高达到 5%～15%的着火密度界限，此时极易着火燃烧。

2）气瓶碰撞。

① 气瓶内液化气突然泄出，高、低温度差异会产生液、气相快速转变，此时不会产生燃烧，但是由于压力急剧升高，会产生爆炸现象。

② 气瓶内的 LNG 迅速蒸发，由于气瓶内空间狭窄，造成压力快速升高，剧烈的膨胀来不及释放压力，会产生猛烈的爆炸。

③ 气瓶压力急剧升高。当气瓶内胆泄漏，而防爆堵塞（真空堵塞）又失效时，由于外胆密封良好，内胆泄漏在气瓶内外夹层之间的 LNG，经汽化后压力会升高很快。气瓶的设计压力为 1.2/－0.1MPa（内瓶/外瓶），气瓶的工作压力为 0.8/－0.1MPa（内瓶/外瓶），当夹层压力达到 0.1～0.2MPa 时抽空塞将自动打开泄压，一旦内外夹层超过气瓶的设计压力（内瓶/气瓶），极易产生不安全的隐患。

3）泄漏 LNG 爆炸。

① 当 LNG 载货汽车停放在不通风之处，天然气出现泄漏后，其密度达到 5%～15%时，若有明火（火花）就极易产生爆炸。

② 当 LNG 载货汽车停放在不通风之处，环境温度较高，气瓶里的压力达到排空压力后进行排空时，其密度很容易达到 5%～15%，一遇明火（火花）就极易产生爆炸。

③ 当 LNG 出现泄漏，若溢出到水中，两种温差极大的液体接触时，会迅速发生液、气相转变，此时压力会快速升高而引起爆炸。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）LNG 着火燃烧。

故障原因：LNG 载货汽车停放场地不通风，当 LNG 或者汽化后的气态天然气泄漏，如果泄漏的气态天然气密度达到或者超过着火密度界限时，一旦遇到明火或者火星就会产生着火燃烧、爆炸。



排除故障：当 LNG 着火燃烧时，首先要立即切断 LNG 的供应，关闭阀门才能去扑灭燃火。必须用干粉灭火器去扑火，一个 350L 的干粉灭火器可以扑灭约 $14m^2$ 范围内的火焰。

切不可用水喷向 LNG 灭火，这会引起 LNG 的大量蒸发而加大燃烧火势。

2）避免 LNG 载货汽车碰撞。

故障原因：LNG 载货汽车行驶中，要密切观察路边的障碍物，如树枝、石墩以及路边各种堆放物，避免气瓶与其相碰撞。

排除故障：汽车运行中要保证安全行驶，不得碰撞、擦挂气瓶。一旦出现汽车相碰时，要仔细检查气瓶有无损坏现象，检查气瓶有无漏气现象。如果气瓶出现漏气现象。应及时关闭气瓶出液截止阀，打开放空截止阀，并由专业人员马上对气瓶漏气部位进行维修，同时，应避免 LNG 与水相接触。

3）气瓶排空。

故障原因：当气瓶内压力升高至一级安全阀的开启压力时，气瓶会出现排空，这是正常的，不属于故障。

排除故障：车用气瓶处于超压状态时，应及时打开放气阀将气瓶内超压气体泄放，直到安全阀正常回座。在向空气排放 LNG 时，应先确定附近确实无明火、易燃物以及无行人通过后才能进行。如果放气阀降压效果较差，可将车开到空旷处，由气、液相接口同时放空。

4）避免形成高浓度气体空间。

故障原因：LNG 载货汽车停止运行，停放在空气密闭、通风不好的仓库里，当 LNG 气瓶排空或者漏气时，就形成高浓度气体空间。

排除故障：LNG 载货汽车不运行时，应将 LNG 载货汽车停放在通风良好的地方，不要将汽车停放在密闭的仓库空间之内，要保持停车场地空气流通，避免天然气泄漏后出现爆炸。

（4）LNG 汽车使用中的安全防患

1）正常使用、保养气瓶，定期排除气瓶各种阀门上的冰块，尤其是注意安全阀门不得被冰块冻住。若安全阀排空口被冻住，气瓶里的高压气体将无法排出泄压，极易出现不安全的事故。

2）保持泄漏报警装置处于正常状态。

3）安全附件（安全阀、压力表等）应定期送检或在有效检定周期内。

4）在修理或者更换气瓶上的零部件和管接头时，应以安全的方式把气瓶中的 LNG 和汽化后的气态天然气排尽。

5）LNG 载货汽车充装 LNG 后不允许长期不用，如果要长期存放 LNG 载货汽车，必须将 LNG 排尽，且将压力放至 0MPa，关闭所有阀门，并且应当将汽车停放在空旷处或者通风场地，存放场地的电器应为防爆形式。

存放期超过 5 天（短期存放）的气瓶，瓶内的 LNG 应剩余 10L 左右为宜，使气瓶处于冷态，不会转变为“热瓶”，并且要关闭所有阀门，切断总电源。

6）严禁 LNG 载货汽车停放在密闭的空间内。

7）不得开启气瓶的防爆堵塞（真空堵塞），否则气瓶的真空丧失，气瓶将失去保温作用。

8）如 LNG 载货汽车已充气，则汽车与周围明火距离不得小于 10m。

9）LNG 载货汽车在使用中，启、闭气阀时，应全开或全闭，在关闭气阀时，不能用力过大，防止阀门损坏。

警告：维修车辆时，严禁敲击、碰撞气瓶、减压阀、管路及各种阀体。

注意：安全阀喷液肯定是不正常的，属于过量充装！强拧阀门可能会导致阀门损坏，从而造成人身伤害。

第五节　LNG 载货汽车涡轮增压器故障的判别处理

涡轮增压器运行的正常与否，直接关系到 LNG 载货汽车的动力性。经济性。由于涡轮增压器利用发动机燃烧排出的废气，推动涡轮增压器叶轮高速旋转，经常处于高温、高转速下工作，因此它的转子、转子轴、叶轮、浮动轴承和轴承套等零件工作条件非常恶劣，转子轴转速甚至高达数十万转，这也是涡轮增压器故障率高的原因之一。为了保证涡轮增压器的正常工作，要求涡轮增压器具有良好的润滑、冷却条件。为此，正确使用、判别、处理涡轮增压器故障是保证 LNG 载货汽车正常运行的必要条件。涡轮增压器工作原理如图 9-37 所示。

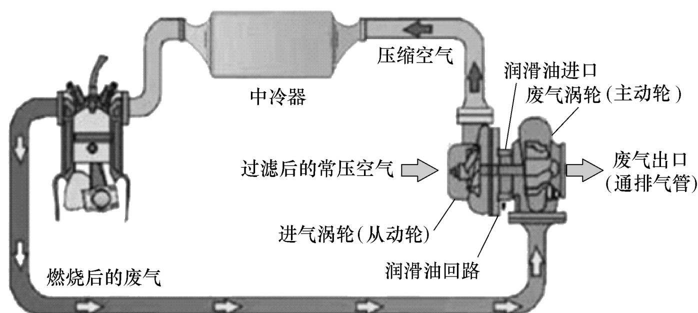


图 9-37　涡轮增压器工作原理

LNG 载货汽车的燃烧温度比柴油载货汽车要高 100～150℃，因此，涡轮增压器的工作温度也比柴油发动机更高，所以 LNG 载货汽车涡轮增压器都采用散热能力更强的水冷涡轮增压器。

一、涡轮增压器常见故障的模式

涡轮增压器属于高转速旋转零部件，所以对零部件加工精度很高，要求转子轴具有良好的润滑性能，润滑油牌号必须要能适应涡轮增压器高速旋转的要求。涡轮增压器结构如图 9-38 所示，其主要故障表现形式为：

（1）发动机动力不足　涡轮增压器失效，造成发动机进气压力降低，致使进入发动机混合器的进气量减少。

（2）发动机曲轴箱窜气　由于涡轮增压器密封环失效，高温气体窜入发动机曲轴箱，从发动机曲轴箱排出。

（3）发动机机油耗增加　发动机排气管冒蓝烟，且能嗅到一股刺鼻的机油味，在发动机起动或者加大负荷时，表现尤为明显。

（4）发动机冷却液中有机油　打开散热器加水口，在汽车散热器加水口冷却液表面，漂浮着一层机油。

（5）涡轮增压器异常振动　发动机工作不平稳，振动加大，手拿一小棍触及涡轮增压器外壳，明显感觉到有较大的振动。

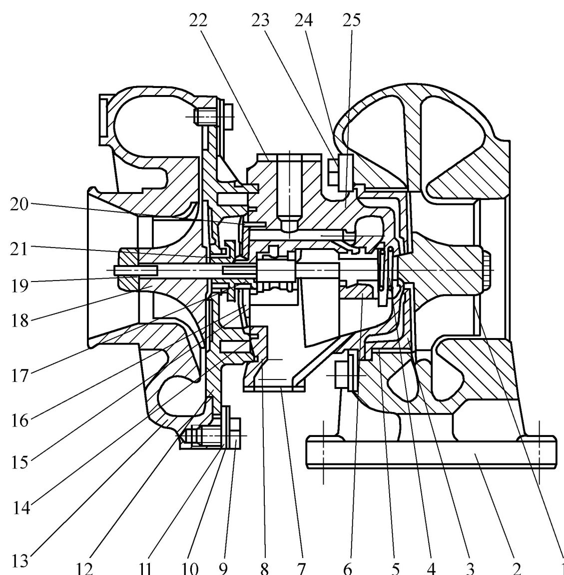


图 9-38　涡轮增压器结构

1—涡轮组合件　2—涡壳　3—堵盖　4、21—胀圈 5—卡簧　6—浮动轴承　7、22—石棉垫　8—中间体　9、23—螺栓　10、24—锁片　11、25—压板　12—端盖　13—压气机壳　14—胶圈　15—弹簧片　16—止推板　17—止推套筒　18—压气机叶轮　19—自锁螺母　20—定位销

(6) 产生连续不正常声音　发动机运转中产生异响，而且这种异响随着发动机转速的变化而有规律地增大或者减小。

(7) 涡轮增压器漏油　进气管口内壁、废气排出管口内壁有机油，有时伴随着转速升高，会有金属摩擦声。

二、涡轮增压器常见故障产生原因

润滑不良是涡轮增压器最常见的故障之一。由于涡轮增压器工作温度非常高，同时因为转子在高转速下工作，必须有足够的机油才能满足各轴承支撑、冷却的需要，润滑不良会造成浮动轴承和涡轮转子的早期磨损和烧蚀。

因此，机油的品质、工作压力、工作温度以及机油的清洁与定期更换，对涡轮增压器的正常使用，减少涡轮增压器的故障率就显得尤其重要。

(1) 发动机动力不足　由于涡轮增压器转速降低，导致增压压力降低，进入发动机混合器的进气量减少，其主要原因如下：

1) 压气机的滤清器被杂质堵塞。

2) 叶轮、叶片扩压器有油污、积炭。

3) 涡轮增压器涡轮内壁存有较多积炭，使旋转阻力增加。

4) 中冷器堵塞，增加了进气阻力。

5) 由于排气管堵塞，涡轮排气不畅通、变形等原因，使涡轮转子无法在高速下运行。

6) 涡轮增压器出口压力突然下降，一般是由于轴承损坏所引起的。

(2) 发动机曲轴箱窜气　涡轮增压器叶轮径向间隙增大、涡轮室端转子轴与中间壳体之

间的密封环变形，涡轮腔与机油通道相通，从而使发动机排出的部分废气进入曲轴箱，形成曲轴箱窜气。

（3）发动机机油耗增加　涡轮增压器压气机叶轮和中间壳之间的 O 形橡胶密封圈没有安装到位、老化，或密封环变形，使涡轮增压器中间壳里的机油经压气机叶轮室被吸入发动机气缸，造成烧机油，导致机油耗增加。

（4）油水混合（冷却液中有机油）涡轮增压器长期在非常高的温度条件下工作，高温涡轮室与冷却液夹层相邻，由于受到长期高温的影响，水冷涡轮增压器水套夹层产生裂纹，机油浸入水套内。

（5）涡轮增压器异常振动

1）涡轮增压器里进异物，损坏涡轮叶片，产生不平衡量。

2）涡轮增压器长期在高温下工作，机油在高温下极易变脏、变质，会使涡轮转子积炭，引起转子不平衡。

3）机油压力低、机油变质，无法形成足够的润滑油膜，使润滑不充分，金属与金属之间直接接触，因涡轮增压器高速旋转产生高温，烧蚀浮动轴承、叶轮轴、推力轴承和轴承套等旋转零件副零件。

由于机油进、回油管堵塞，造成机油供油量减少，无法形成足够的润滑油膜，使润滑不充分。

（6）产生连续不正常声音　这种故障多数是转子与壳体发生碰撞而产生的。转子与壳体装配间隙较小，如果安装调整不当或轴承严重损坏，即可发生碰擦。

（7）涡轮增压器漏油

1）增压器外部油管（包括增压器进、回油管）紧固不牢或者油管损坏。

2）密封装置失效，特别是压气机端 O 形密封圈失去应有的封油作用，直接导致向压气机壳内泄漏润滑机油。

3）空气滤清器滤芯积尘阻塞。空气滤清器滤芯保养清理不及时，会造成灰尘积攒过多而形成滤芯阻塞，导致压气机进气负压太高，在压气机叶轮背处出现高负压，形成压迫性漏油。

4）回油管路不畅。如果主油道的机油压力较低，回油管堵塞或管路过细，都会造成回油困难，高压将导致润滑机油沿着转轴向两端流动，最终造成漏油。另外，活塞环断裂或磨损造成燃气下窜至曲轴箱，曲轴箱通风管阻塞也会使曲轴箱的压力增高，造成增压器因回油不畅而漏油。

5）进口压力过高。一般涡轮增压器润滑机油的进口压力正常为 250～400kPa，当进口油压高于 600kPa 时，高压将会使润滑机油自密封装置处向涡轮端泄漏。

6）密封环磨损失效。进入涡轮增压器的润滑机油和空气难以保证绝对的清洁，以及涡轮转轴径向间隙过大，会引起密封环与环槽严重磨损，失去密封作用。另外，失效的润滑机油会使密封环逐步失去封气、封油的作用而导致漏机油。

7）安装不当或损坏。在涡轮增压器压气机端和涡轮端的槽中安装有两个密封环，装配时若未能使相邻的两环开口相互错开 180°，也容易造成涡轮增压器漏机油。涡轮增压器密封环靠弹力固定在涡轮外壳上，弹力减小时，涡轮增压器传动轴将会来回窜动，改变密封环与传动轴上环槽的侧向间隙，使环端面磨损，从而导致涡轮增压器漏机油。

三、涡轮增压器常见故障的分析、判别处理

在查明涡轮增压器的故障原因之前，不要把涡轮增压器从发动机上拆下来，而应该先检查和分析涡轮增压器的工作情况。如果必须把涡轮增压器从发动机上拆下来，则在把软管、管夹和接头拆下来前，要确定接头是否紧固可靠，是否有漏气现象。因为一旦把涡轮增压器拆下来，就很难证实产生这类问题的真正原因。

（1）涡轮增压器常见故障的检查　现场出现的问题大多数可以通过系统故障诊断来解决。下面是常用的检查涡轮增压器故障的基本方法。

1）听声音。

① 听是否有不正常的机械噪声，并看一看振动情况。

② 听是否有高频噪声，这可能表明有空气或燃气泄漏。

③ 听周期性噪声的程度，这可能表明在空气滤清器和管道中有节流。

2）目测检查。

① 螺母、螺栓、压板和垫片是否有漏装或松动现象。

② 检查发动机进、排气管及其管道和固定件是否松动和损坏。

③ 检查润滑机油进、出管道是否有节流或损坏现象。

④ 检查涡轮增压器壳体是否有裂纹或损坏。

⑤ 检查外部润滑机油或冷却介质是否泄漏，检查涡轮增压器外表面是否有污物沉淀（表明空气、润滑油、排气或冷却介质泄漏）。

⑥ 检查零部件是否有明显的热变色（涡轮壳除外）。

⑦ 检查空气滤清器是否有明显的节流现象。

⑧ 检查废气放气阀能否自由运动和损坏。必须确保软管连接良好，接头紧固可靠。按照设备的原始规范来检查。

3）感官判别检查。

① 用手旋转涡轮增压器叶轮轴，检查转动是否灵活，是否有卡滞现象，如图 9-39 所示。

② 用手摆动涡轮增压器叶轮轴，检查转子轴轴向间隙与径向间隙，如图 9-40 所示。

③ 用手旋转压气机叶轮，检查压气机叶轮是否擦涡轮壳，如图 9-41 所示。



图 9-39　检查转子轴是否转动灵活



图 9-40　检查转子轴轴向间隙与径向间隙

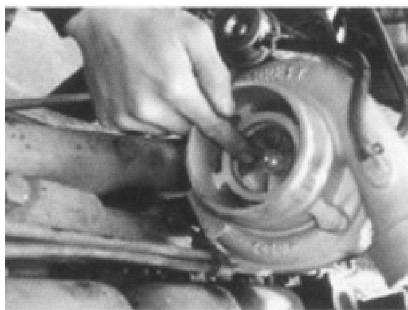


图 9-41　压气机叶轮与涡轮是否损坏或者擦涡轮壳

4）仪表检查。用手推动或者拨动涡轮增压器叶轮轴，检查轴向、径向间隙是否正常。

正常间隙：轴向 0.05～0.12mm，径向 0.20～0.60mm。

一般情况下：1）如果增压器轴向、径向间隙正常，则可判断增压器没有失效。

2）如果发动机机油出现变质、结胶，则有可能增压器会失效。

轴向间隙的检查方法：将千分表座固定在涡轮壳上，千分表测头顺轴向顶住叶轮轴的顶端，并施加一定的压力，在涡轮增压器的另一侧（压气机端）用手顺轴向用力拉动和推动叶轮轴，这时千分表上读数的最大值和最小值之差即轴向间隙。

使用过一段时间的增压器，其轴向间隙会增大，如 J（P）40S、J（P）60S、J（P）80S 和 J（P）90S 系列涡轮增压器，其最大轴向间隙小于 0.16mm，JI30S 系列涡轮增压器轴向间隙小于 0.23mm。

径向间隙的检查方法：用手指沿径向压下压气机叶轮小端，叶轮与壳体之间会产生一最小间隙，此时用塞尺测量出的间隙就是涡轮增压器叶轮轴的径向间隙。

（2）涡轮增压器常见故障的排除处理

1）涡轮增压器积炭过多，致使涡轮、压气机转子动平衡发生破坏。可卸下压气机和涡轮壳，用刮刀或者毛刷消除积炭。注意不得损伤涡轮、压气机转子等零件表面。

2）涡轮壳损坏。检查涡轮壳，若涡轮壳发生变形，则视情况修复或者更换。

3）浮动轴承损坏。检查浮动轴承，若浮动轴承发生磨损，则应当更换浮动轴承。

4）防喘振阀失效。LNG 发动机设置了防喘振阀，将节气门的低压压力传递到防喘振阀，使涡轮增压器的前后压力平衡，若防喘振阀单向截止膜片关闭或者失效，则应当更换防喘振阀。

5）涡轮增压器转速下降。涡轮增压器叶轮与壳体之间有摩擦、涡轮增压器内部积炭过多而造成空气滤清器进气管路、压气机出口太脏，轴承损坏使轴承卡住等，对这些现象应逐项检查，直到一一排除。

6）涡轮增压器漏机油。机油无论是从涡轮端处还是从压气机处泄漏，都会导致机油耗量增大、发动机冒蓝烟，严重时会从排气管处漏机油。拆卸涡轮增压器，依次检查中间壳回油道是否畅通、管道是否变形、密封环是否失去弹力或者磨损、油封是否损坏。对这些现象进行逐项检查，直到一一排除。

7）涡轮叶轮、压气叶轮损坏。排气系统进入异物、杂质，涡轮增压器定位销、胀圈、锁片、压板或螺栓松动，造成涡轮叶轮、压气叶轮损坏，涡轮叶轮结胶、积炭过多。拆开涡轮增压器清除结胶及积炭，视情况更换涡轮叶轮和压气叶轮。

四、判断处理涡轮增压器故障要点

1）如果涡轮增压器能自由转动并不擦内壳、没有异响，就不要急于判定为涡轮增压器出现问题。

2）如果涡轮增压器的轴向间隙、径向间隙都正常，就不要急于判定为涡轮增压器出现问题。

3）如果发动机润滑油没有变质、结胶，就不要急于判定为涡轮增压器出现问题。

4）如果没有查明、确定涡轮增压器存在问题，就不要急于拆卸、解体涡轮增压器，以免出现误判。

涡轮增压器从根本上不会改变发动机本身的工作特性。涡轮增压器不是一种能源，它的作用是向发动机提供压力更高、密度更大的压缩空气，以提高发动机的燃烧效率，从而产生更多的功率。它的工作效率完全取决于发动机废气的流量、压力和温度。

了解涡轮增压器在整个发动机工作系统中的作用，对成功诊断和排除其故障是非常重要的。同样，更好地了解涡轮增压器的一些特点，有助于对涡轮增压器损坏、缺陷形式以及故障类型的判别。

第六节　LNG 载货汽车漏气故障的判别处理

泄漏的气态天然气如果在空气中的局部浓度达到 5% ~15% 时，则此气体是可燃的。要达到这一浓度，天然气泄漏的速度必须大于它向周围空气中扩散的速度，也就是说，大量泄漏比小量泄漏的危险性大。

LNG 载货汽车出现漏气会影响到汽车的正常运行，甚至会危及到 LNG 载货汽车的安全。为了保证 LNG 载货汽车在运行中，驾驶人能及时发现供气系统的漏气部位，在 LNG 载货汽车供气系统中设置了漏气报警器。漏气报警器由漏气传感器和漏气显示器组成：漏气传感器分别安装在发动机舱进气管接头、出气管接头处和 LNG 气瓶框架上的阀门及管接头处，如图9-42、图 9-43 所示；漏气显示器则安装在驾驶室仪表台上，如图 9-44 所示，以便于驾驶人随时观察了解漏气情况，及时处理漏气故障。

图 9-43 所示为双气瓶结构。为准确监测漏气情况，双气瓶上装了两个漏气传感器，分

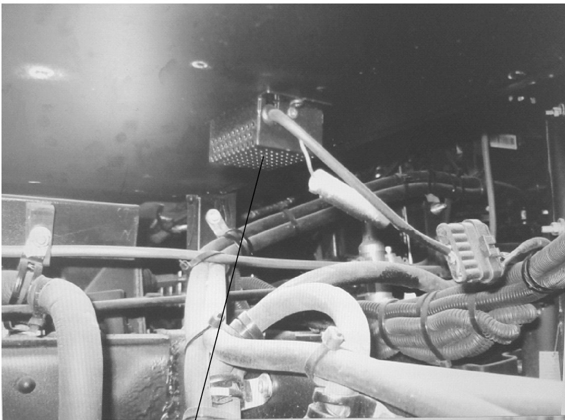


图 9-42　发动机舱漏气传感器



图 9-43　气瓶漏气传感器

别监测上、下气瓶及进、出气管接头的漏气点，漏气传感器装在气瓶框架上，距气瓶 200mm 左右。若漏气传感器距气瓶距离太远，测量的漏气浓度就会失去准确性，不能及时对漏气点进行报警。

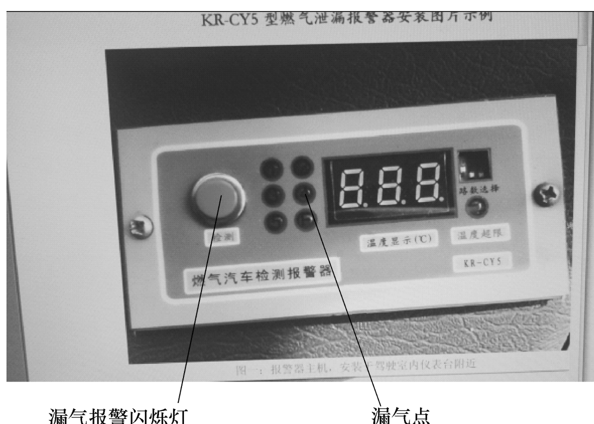


图 9-44　驾驶室仪表漏气显示器

一、泄漏的类别

(1) 不可燃的泄漏　每分钟小于 25cm³ 的泄漏在空气中不会引起燃烧，其特点是气泡不断扩大，但在泄漏过程中会自动破灭、消失。这些气泡在泄漏处不会破灭，而是从泄漏处流走时变干燥破灭。这种泄漏在通风的环境中不会构成可燃烧性危险，甚至在静止的环境中也不会出现燃烧性危险，但会造成燃气耗高。

(2) 扩散性的泄漏　由于泄漏量非常小，扩散非常快，因而泄漏往往忽略不计，其特点是一系列不均匀的小气泡出现在泄漏处（小于针尖），它们在很短的时间内会自行消失（1～3min）。这种泄漏是不可燃的，也不会聚集在 LNG 载货汽车发动机舱内。

(3) 气体的泄漏　从本质上讲，气体的泄漏比液体泄漏的危险性小很多，因为液体释放出来的天然气量远远大于气态天然气，但是处理小量气体泄漏的困难在于此泄漏是看不见的，需要专门的技术和设备来检测判明泄漏的部位。

(4) 液体的泄漏　液体的泄漏是相当危险的，少量液体泄漏释放出来的气体，比通过同样尺寸开孔的气体泄漏量大几百倍，而且一旦液体泄漏后，汽化产生的气态气体密度是很浓、很大的，必须及时排除泄漏。液体泄漏是很容易检查出来的，因为液体泄漏是看得见、听得到的。

液体泄漏的主要原因是零件损坏或者安装不当所引起。

(5) 听得到的泄漏　当气体大量泄漏时（1000cm³/min），泄漏是可以听得到的，且由于此时泄漏是大的泄漏，所以泄漏的气体是可燃烧的。

这种情况主要是由于供气系统相关零件的松退、断裂，以及阀门的磨损、密封件的损坏而引起的。

二、漏气故障现象

由于气态天然气无色、无味，视觉不可见，因此漏气后一般情况下不容易被发现，加上驾驶人行车时在驾驶室内操作，无法及时观察到漏气，所以必须借助漏气报警器才能有效、快速地查明漏气点。

(1) 进、出 LNG 管接头，进、出气态气体管接头处冒气泡　由于供气系统气瓶进、出 LNG 管接头处，进、出气态气体管接头处，发动机低压减压器处有冰、霜，因此，当出现漏气时会在管接头处冒出气泡，这种现象属于漏气不很严重的故障。

(2) 进、出 LNG 管接头处，进、出气态气体管接头处吱吱响　供气系统气瓶进、出

LNG 管接头处，进、出气态气体管接头处或者发动机低压减压器处出现吱吱的响声，这种现象属于漏气较严重的故障。

（3）漏气显示器出现漏气现象　在漏气显示器上列有不同的报警点标志，从驾驶室仪表的漏气显示器上可以很直观地观察到供气系统的各个报警点，不同的报警点标志对应不同的漏气传感器报警接头位置。

三、漏气故障分析判断

（1）进、出 LNG 管接头，进、出气态气体管接头松退　LNG 载货汽车在行驶中因为路况不平，颠簸而出现供气系统管接头松退。管接头松退后，会出现漏气现象。

（2）进、出 LNG 管接头，进、出气态气体管接头损坏　随着使用时间的增长，进、出 LNG 管接头，进、出气态气体管接头螺纹部分、管接头密封面部分，会出现不同程度的损坏和失效。

（3）阀门发卡　由于 LNG 中含有细微的泥沙、冰块，它们随着 LNG、气态气体流经阀门时，会卡住阀门，出现漏气。

（4）调节阀门损坏　在调节阀门时，由于操作不当，会造成阀门调节螺杆损坏、调节密封垫片变形现象，造成漏气，如图 9-45 所示。

（5）阀门密封面损坏　由于各种阀门都是由密封锥面副、密封平面副构成的，这些密封面的加工精度非常高，若密封面被划伤或者变形失效，就会出现漏气。

（6）卡套式管接头密封面损坏　卡套式管接头与卡套是依靠锥面来进行密封的，若密封锥面被划伤，会造成密封不良，出现漏气现象，如图 9-46 所示。

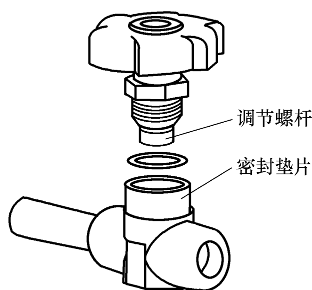


图 9-45　调节阀门

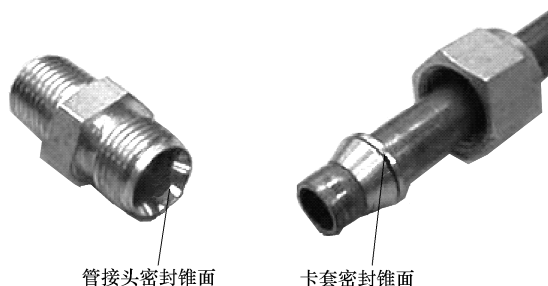


图 9-46　卡套式管接头

四、产生漏气故障原因及检查排除故障

（1）LNG 载货汽车运行中管接头螺纹松退或损坏

1）在日常保养、定期保养时，未能按规定力矩检查、紧固螺栓、螺母，以至在汽车行驶时出现管接头松退。

2）在保养时螺纹副紧固力矩过大，造成管接头螺纹副损坏。

在 LNG 载货汽车行驶运行中，应当按日常保养、定期保养的要求检查紧固管接头螺纹副。在紧固管接头螺纹副时，应当按照螺纹副紧固力矩要求紧固，紧固力矩不能过紧或者过

松，不能用力过大，防止损坏螺纹副。

在拧紧螺纹时，先用手旋紧螺母或者螺杆三扣，然后再用扳手拧紧螺母或者螺杆，切忌用手旋不紧而强制性地旋紧螺纹副，这样会损坏螺纹副。

（2）进、出 LNG 管接头，进、出气态气体管接头加工精度差、变形　LNG 供气系统管接头由于要求具有良好的密封性，所以要求管接头加工精度非常高。若管接头密封副配合精度不好，或者由于 LNG 低温造成密封副零件发生变形，也会产生漏气。

出现密封副变形失效、摩擦损伤后，应更换供气系统管接头密封副，切不可只更换单一密封零件。若更换单一密封零件后，会造成因两零件密封副配合不好而失去密封作用，仍然会漏气。

（3）阀门发卡　由于 LNG 中含有杂物（细砂子、冰块等），一旦杂物卡在阀门上，会造成密封失效、漏气现象。

（4）阀门密封面受损　保养时紧固或者松退阀门方法不当，使密封面变形受损，或者密封面之间因杂物（细砂子、冰块等）摩擦损伤，会造成漏气。

注意：

1）在开启阀门时，应将阀门开启到最大位置，然后再回转半圈，切忌将阀门开启到全开位置。

2）为防止阀门损坏，关闭阀门不能用力过大，开启阀门不能超过上死点。

3）在装配截止阀时，必须将截止阀接头螺纹对正，用手将螺母拧紧，接头螺纹要拧进去 3 扣以上，再使用扳手紧固螺母。若用手拧不进去，则有可能是螺纹滑丝，必须更换合格的截止阀。

五、漏气检查方法

汽车在运行一段时间后，供气管接头可能会出现不同程度的松动而出现漏气。LNG 无烟、无色、无味，可以通过下述方法检查、判断漏气。

（1）漏气报警器　当空气中的气态气体体积分数达到 1% 时，漏气报警器会发出报警。

（2）听声音　若供气系统漏气，因为气体有压力，漏出来的气体会因为压力而发出吱吱响声。

（3）看气泡　若供气系统漏气，因为有压力，漏出来的气体会因为压力而冒出气泡，也可用肥皂水涂在怀疑漏气的部位，看是否有气泡漏出来。

（4）用手摸　若供气系统漏气，因为有压力，漏出来的气体会产生压力感，用手摸就能感觉到。

注意：切不可不戴手套直接用手摸 LNG，因为 LNG 的温度通常在 −120℃以下，不戴手套直接用手摸 LNG，会冻伤手。

六、漏气的处理

气体有压力，在 LNG 载货汽车运行中，因为汽车行驶的振动，时间长了就会造成管接头松动，出现漏气现象。漏气时常见的处理方法如下。

1）根据检查到的漏气点部位，检查是否管接头松退，若管接头松退，则只需拧紧管接头就可。

2）若拧紧管接头仍然漏气，有可能是管接头螺纹螺距配合松了，此时，就必须拆下漏气的管接头，在漏气管接头螺纹处缠绕耐低温生胶带（−220～−200℃），再紧固管接头。切不可用常温生胶带代用，缠绕生胶带时，切忌生胶带进入气管内，以免生胶带屑堵塞供气系统阀门。

3）若管接头坏了，则需更换管接头，更换管接头时，也应缠绕耐低温生胶带（−220℃～−200℃）。

在拆卸管接头前，必须先关掉截止阀，放空管路中的 LNG 或者汽化后的气态气体。松开管接头 1～2 圈，观察管接头处有无气体泄漏，待确认接头处无气体泄漏后，再拆除、更换管接头。

在更换管接头时，若有 LNG 漏出，则应戴上专用防护皮手套作业，不允许戴棉手套操作。

七、管路泄漏常见故障及处理

管路泄漏主要为汽化器后的 LNG 泄漏和气态气体泄漏两种形式，泄漏后主要表现为可视、可听，但不可闻。

（1）故障表现形式　从管接头处泄漏小的气泡如图 9-47 所示，泄漏较大的气泡如图 9-48所示，泄漏介质为 LNG 和汽化后的气态气体。

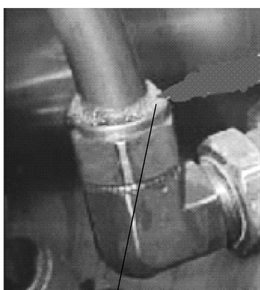


图 9-47　管接头漏小气泡

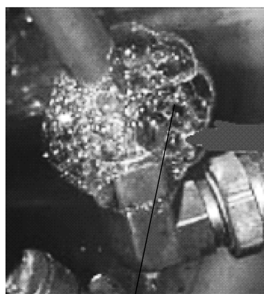


图 9-48　管接头漏大气泡

（2）故障分析判断

1）LNG 载货汽车运行中，气管接头锁紧螺母松退，产生泄漏。

2）管接头锁紧螺纹损坏，产生泄漏。

（3）产生故障原因及检查排除故障　LNG 载货汽车运行中，随着路况颠簸、汽车振动，气管接头锁紧螺母会出现松退现象或气管接头损坏，应视情况更换气管接头或者相应阀门。

第七节　LNG 载货汽车一般故障的判别处理

LNG 载货汽车一般故障的发生，虽然不会造成汽车停止运行，但是会影响到 LNG 载货汽车的正常行驶。只有正确判别处理好 LNG 载货汽车故障，才能确保 LNG 载货汽车的正常运行。

一、液位显示器、变送器的故障

LNG 车用气瓶液位显示器属于电容式液位测量仪表，它能将 LNG 车用气瓶内液位参数的变化转换成电信号，远传至显示器进行集中显示，其功能类似于汽车用油量表。一旦液位显示器出现故障，驾驶人将无法判别气瓶里 LNG 的储量，会出现 LNG 载货汽车中途因缺 LNG 而无法行驶的现象。

根据单气瓶或者双气瓶的数量，变送器也会有相应的配置，图 9-49 所示是单气瓶变送器的工作原理。

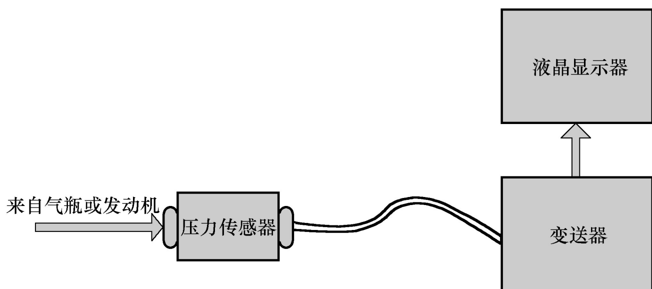


图 9-49　单气瓶变送器工作原理

（1）故障表现形式

1）气瓶压力升高但变送器输出不升高，液位显示器没有显示。此种情况，应先检查压力接口是否漏气或者被堵住，如正常，需检查接线方式。如接线正确无误，接下来应检查电源。如电源正常，就查看传感器零位是否有输出，或者进行简单加压看输出是否有变化。有变化证明传感器没有损坏，如果无变化则可确认传感器损坏。出现这种情况的其他原因，还可能是仪表损坏（如 PLC 量程设置问题等）。

2）气瓶加压后变送器输出突然变化。气瓶里 LNG 储量没有变化，加压时变送器输出突然变化，泄压时变送器不能归零位。产生此现象的原因可能是压力传感器密封圈引起的，一般是因为密封圈规格不符（太软或太厚），拧紧传感器时，密封圈被压到传感器引压口里面堵塞传感器，加压时压力介质进不去，但是压力很大时会突然冲开密封圈，压力传感器受到压力而变化，而压力再次降低时，密封圈又回位堵住引压口，残存的压力释放不出去，因此传感器不能归零位。排除此故障的最佳方法是将传感器卸下，直接查看零位是否正常，如果正常更换合适的密封圈再试。

3）变送器输出信号不稳。在 LNG 载货汽车运行时，气瓶里 LNG 储量变化不稳定，故障原因如下：

① 因安装位置有振动致使传感器振动厉害。

② 仪表或压力传感器抗干扰能力不强。

③ 传感器接线不牢。

④ 传感器故障。

4）变送器接通电源后无信号输出。液位显示器没有显示，故障原因如下：

① 接错线（需同时检查二次仪表和传感器）。

② 电源无输出或电源不匹配。

③ 导线本身断路或短路，或者导线进水。

④ 仪表损坏或仪表不匹配。

⑤ 传感器损坏。

⑥ 重新设置转换器电容值。

5）变送器与指针式压力表偏差大。由于变送器偏差大，液化气计量显示不准确。

变送器偏差规定：压力偏差变化超过1.5%，视觉偏差100kPa属于正常。

确认正常偏差范围的方法：计算出压力表的偏差值。

例如：压力表量程为3MPa，精度为1.5%，最小刻度为20kPa，正常的偏差为3000×1.5%+20×0.5(视觉偏差)=55kPa。

整体对照时出现的可能性偏差范围，应以大偏差值设备的偏差范围为准。以上例来说，传感器与变送器偏差值在55kPa内可视为正常。

出现偏差是正常的现象，主要是确认正常的偏差范围。如果偏差非常大，应使用高精度仪表（仪表精度高于压力表和传感器的精度）进行对比参照。

6）微差压变送器安装位置对零位输出的影响。微差压变送器由于其测量范围很小，变送器中传感元件的自重就会影响到微差压变送器的输出，因此，在安装微差压变送器时出现的零位变化情况属于正常情况。安装时应使变送器的压力敏感件轴向垂直于重力方向，如果安装条件限制，则应安装固定后调整变送器零位到标准值。

（2）故障分析判断

1）液位显示不准确：传感器引线包皮被划破或者拉断。

2）液位无显示：检查变送器电源是否接反，电源极向连接是否正确。

3）液位无显示：变送器的连接电源电压不对。电源要求为24V直流电压，将电流表串入24V电源回路中，检验电流是否正常，假如正常则变送器是正常的。

4）液位显示为零：显示仪表损坏，或者短路。

5）压力传感器损坏：变送器失效，液位显示为零。

6）电容电极导线与外部的接头处短路：如果电容电极导线与外部连接处有水分，那么将造成短路，此时无论内胆有多少液体，液位显示表的读数都将显示为满刻度。

7）变送器安装位置不当，传感器连接插座处因结冰，无信号反映。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）液位显示不准确或者无液位显示。安装电容电极传感器导线应安装可靠，连接导线不能靠近热源。安装电容电极传感器导线时，应注意紧固铆钉、螺钉不能打进连接导线内部，否则连接导线会出现短路现象。

拉出连接导线时应小心拉扯，防止连接导线包皮被划破。

按规定连接电压要求连接电源，变送器的电源电压不得过高或者过低。

安装后，检查变送器电源极向连接（插接线必须按照相对应的颜色插接），确认极向连接正确后再接通电源，否则会烧坏变送器。变送器电源极向连接如图9-50所示。



图9-50　变送器连接

2）显示仪表损坏。将显示仪表正极线接电源，负极线接地此时如果显示仪表正常，则表明仪表正常。反之，则表明仪表损坏。

3）压力传感器损坏。当变送器的额定压力

值小于供气系统压力值时，会损坏压力传感器的隔离膜片，应重新选择符合要求压力量程的变送器。

4）电容电极导线与外部的接头处短路。如果电容电极导线与外部连接处有水分，那么将造成短路，此时无论内胆有多少 LNG，液位显示表的读数都将显示为满刻度。

5）变送器间断信号反应。变送器安装位置不当，传感器连接插座处因结冰而潮湿，会出现变送器间断信号反应。

6）显示器报警显示。当气瓶 LNG 储量低于气瓶有效容积的 10% 时，状态灯会闪烁报警。

当显示仪表上气瓶压力显示“+E”时，则有可能是气瓶压力传感器插接件短路。

注意：

1）安装或者维修变送器，当需要拔出插接件时，应先断开电源，再进行断开或者接入工作，待操作完成后再接通电源。

2）一般情况下是不需要拆下变送器的，若需要拆除变送器，必须与气瓶配对还原装配，不可互换气瓶或变送器，因为变送器电容电极信号采集与气瓶是相匹配的，一旦相互更换，就无法准确采集、显示气瓶中 LNG 储量。

3）为便于观察 LNG 载货汽车行驶中 LNG 储量的变化，也由于液位显示表不防雨，所以液位显示表安装在汽车仪表板上便于观察的部位。

二、主要阀门的故障

LNG 载货汽车供气系统主要阀门为安全阀、经济阀、截止阀等，这几种阀门正常与否，直接关系到 LNG 载货汽车的安全性、经济性、可靠性。

1. 安全阀故障

一级安全阀（Svp）、二级安全阀（Svs）与压力表组合起来，控制气瓶供气系统的安全，如图 9-51 所示。

（1）故障表现形式　安全阀故障常常表现为不能在标定压力下及时关闭、开启。安全阀结构如图 9-52 所示。

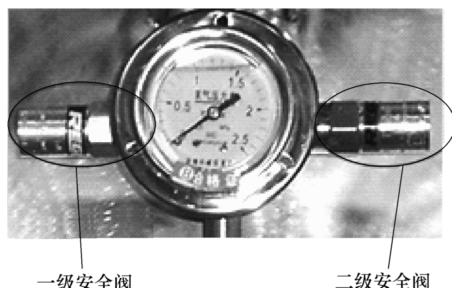


图 9-51　安全阀压力表组合

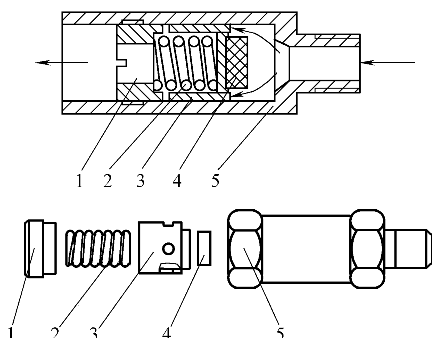


图 9-52　安全阀结构

1—调节螺母　2—弹簧　3—安全阀柱塞　4—密封垫片　5—安全阀体

（2）故障分析判断

1）气体中的碎屑会积聚在安全阀密封垫片上面，堵塞安全阀座落位，使安全阀在标定压力（一级安全阀 1.59～1.75MPa，二级安全阀 2.20～2.85MPa）下一直打开。

2）因排空引出管内泥土碎屑堵塞管路，或者排空引出管内进水产生冰碴，堵截了安全阀。

3）因 LNG 中的泥土、灰尘划伤安全阀柱塞，使安全阀密封不严，出现漏气。

4）因气瓶低温，安全阀体也会出现冰块，如图 9-53 所示，造成安全阀柱塞变形、柱塞无法回位或者回位后密封不严。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）如果一级安全阀（Svp）被泥土、碎屑堵塞，可使气瓶的压力上升至二级安全阀（Svs）开启压力（2.20～2.85MPa），使泥土、碎屑冲出一级安全阀（Svp）。如果气瓶压力值超过一级安全阀（Svp）的开启压力值（1.59～1.75MPa），LNG 载货汽车应停止行驶，待排除故障后再行驶运行。

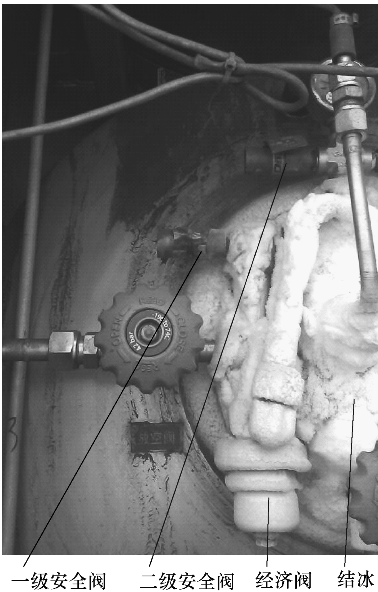


图 9-53　安全阀冰块

2）如果是因水造成冰碴堵塞，则可用热水冲刷安全阀的外部，使冰块解冻。如果在解冻时阀门重新落座，则应检查、查明故障的具体原因。如果在解冻时阀门不能重新落座，则应更换安全阀。

2. 截止阀故障

截止阀故障常常表现为阀门漏气、漏液，严重时会引起燃烧、爆炸的危险事故。

（1）故障表现形式

1）从密封螺母处漏气，如图 9-54 所示。

2）从阀顶螺母处漏气，如图 9-54 所示。

3）阀门关闭后，从阀门出口处有气态气体或者 LNG 漏出，如图 9-54 所示。

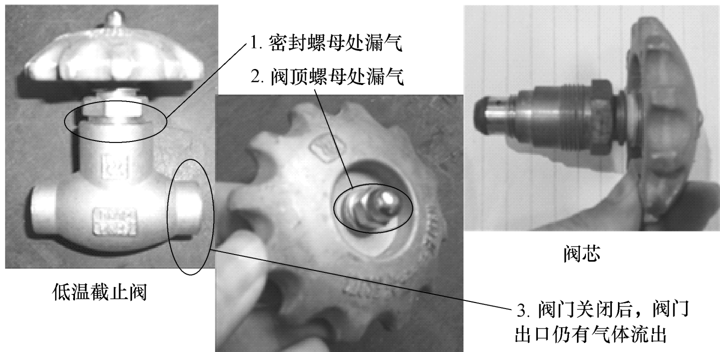


图 9-54　截止阀漏气的形式

（2）故障分析判断

1）阀门密封圈损坏，从密封螺母处漏气。

2）阀门密封圈损坏，从阀顶螺母处漏气。

3）管螺纹损坏，从阀门出口处泄漏气态气体或者泄漏 LNG。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）从密封螺母处漏气，用扳手拧紧密封螺母。

2）从阀门密封圈损坏，用扳手拧紧阀顶螺母。

3）阀门出口处漏 LNG 或者泄漏气态气体，用低温（-220～-200℃）生胶带缠绕螺纹，并拧紧管接头，或者更换阀门。

3. 单向阀故障

单向阀故障常常表现为漏气、漏液，严重时会引起燃烧、爆炸的危险事故。

（1）故障表现形式

1）从单向阀密封面漏气，如图 9-55 所示。

2）从单向阀阀口漏气，如图 9-55 所示。

（2）故障分析判断

1）单向阀密封面损坏，从单向阀密封面漏气。

2）单向阀阀口螺纹损坏，从单向阀阀口漏气。

3）单向阀弹簧失效、变软，从单向阀阀口漏气。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）解体单向阀，检查密封面损坏情况，视损坏情况更换单向阀。

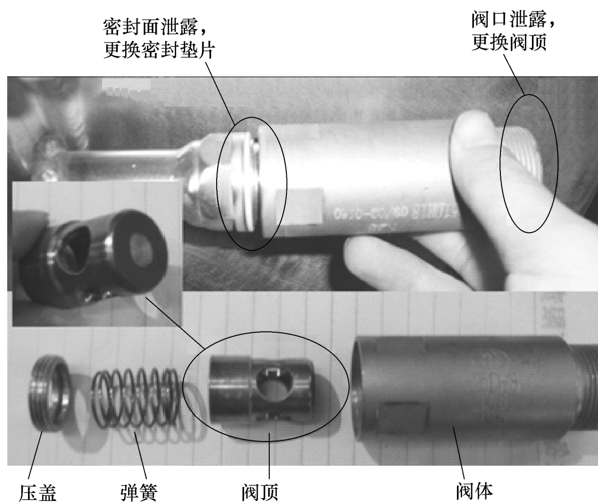


图 9-55　单向阀漏气的形式

2）检查单向阀阀口螺纹，视情况更换单向阀阀体。

3）检查单向阀弹簧失效、变软情况，视情况更换单向阀弹簧或者更换单向阀总成。

4. 经济阀故障

经济阀一旦出现故障，LNG 发动机将会出现动力不足、耗气量增大的现象。经济阀出现故障后，应当及时进行排除，否则 LNG 载货汽车将无法正常工作。经济阀进、出气管的安装连接形式如图 9-56 所示。

（1）故障表现形式

1）燃气耗增大，经济阀压力高于设定值。

2）LNG 发动机燃气压力低、动力不足，经济阀压力低于设定值。

（2）故障分析判断

1）经济阀阀门被灰尘、碎屑、冰碴完全堵塞，气瓶内压力高于设定压力值。

2）经济阀阀门被灰尘、碎屑、冰碴堵塞，阀门没有关严或者没有关闭。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）当气瓶内压力低于设定压力值时，LNG 载货汽车应立即停止运行，使气瓶内压力上

升到比经济阀设定压力高 0.2MPa，这时阀门完全打开，将灰尘、碎屑、冰碴带入到 LNG 发动机内燃烧。同时，由于冰碴溶化也需要时间，进入 LNG 发动机燃烧室后，能很快溶化。若按此方法没有解决问题，则可判明是经济阀损坏，需要更换经济阀总成。

2）当气瓶内压力高于设定压力值，在 LNG 载货汽车运行时，经济阀压力仍然不断升高，而且经济阀不会结霜，此时则可判明是经济阀出现严重故障，必须更换经济阀总成。

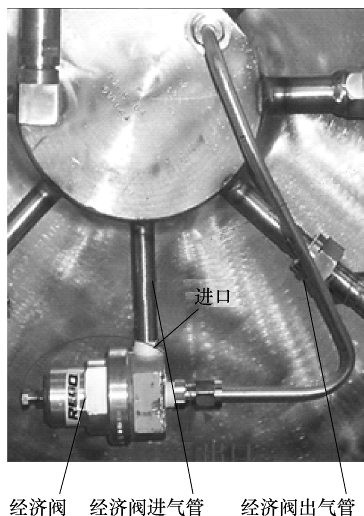


图 9-56　经济阀进、出气管连接

三、LNG 载货汽车散热不足的故障

由于 LNG 载货汽车燃烧温度较高（其燃烧温度比柴油载货汽车高 100～150℃），对 LNG 载货汽车的冷却系统散热能力配置，要求比柴油载货汽车高一些。因此，LNG 载货汽车散热器的合理配置，是保证 LNG 载货汽车正常行驶的条件之一。

由于汽车散热能力计算的偏差较大，所以目前很多重型载货汽车散热能力的匹配，还是采取初步计算、试验验证的方法进行，依靠试验来验证、调整冷却系统的散热能力。

在配置 LNG 载货汽车散热能力时，以同类型柴油载货汽车散热能力为基础，在此基础上再通过试验来验证、调整冷却系统相关零部件的结构参数，最终确定 LNG 载货汽车的散热能力。

1. 冷却液温度高

（1）故障表现形式

1）冷却液温度高。LNG 载货汽车重载上坡时，冷却液温度超过发动机规定的极限温度（≥95℃）。

2）动力降低。LNG 载货汽车重载上坡时，随着发动机冷却液温度的升高，动力性下降，LNG 载货汽车必须降低一个档位才能行驶上坡。

（2）故障分析判断

1）冷却液温度高。LNG 载货汽车重载上坡时，发动机在最大转矩工况下工作，此时发动机转速降低，风扇转速也相应降低，而发动机的负荷却不断增大。若 LNG 载货汽车散热能力设计不足，此时，会出现冷却液温度超过发动机规定的极限温度（≥95℃）的现象。

2）动力降低。由于发动机燃烧工作温度高，燃烧不充分，发动机燃烧发出的有效功率就相应减少，因此动力会有所降低。

（3）产生故障原因及检查排除故障　冷却液温度高一般在 LNG 载货汽车重载上坡时发生，此时，由于汽车行驶车速慢，行驶阻力大，发动机风扇转速和冷却水泵转速却都比较低，散热器冷却液循环流量小，而此时，发动机处于大转矩低转速工况下工作，若因散热器芯堵塞，则极易产生冷却液温度高现象。

LNG 载货汽车重载、低速、上坡和风扇转速低等条件是无法更改的，要消除冷却液温度高的故障，就只能提高 LNG 载货汽车的冷却能力，提高散热量。

1）提高冷却水泵的转速：增大水泵带轮的速比。

2）增大冷却水泵叶轮的直径：增大水泵水流量。

3）提高散热器的散热面积：增大散热器迎风散热面。图 9-57、图 9-58 所示是 JNP4250 柴油载货汽车、JNP4250N LNG 载货汽车散热器外形，比较这两类汽车的散热器，JNP4250N LNG 载货汽车散热器的迎风面积比 JNP4250 柴油载货汽车加大了 18.4%，试验表明，可以满足 JNP4250 N LNG 载货汽车的散热能力要求，保证发动机动力性的充分发挥。

4）增大风扇直径，提高散热量。

5）增大汽车行驶中迎风散热能力，减小汽车前面罩对散热器迎风面积的遮挡，增大进风量，如图 9-59 所示。

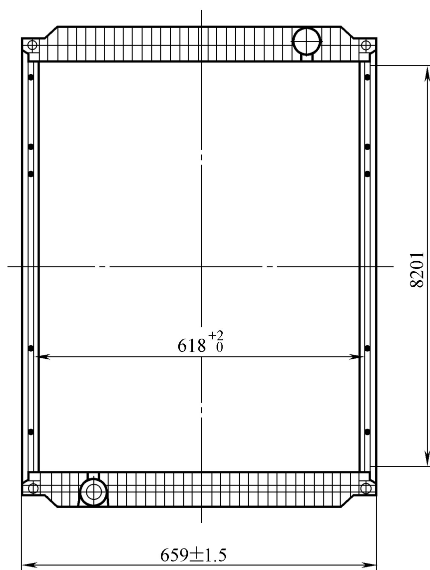


图 9-57 JNP4250 柴油载货汽车散热器

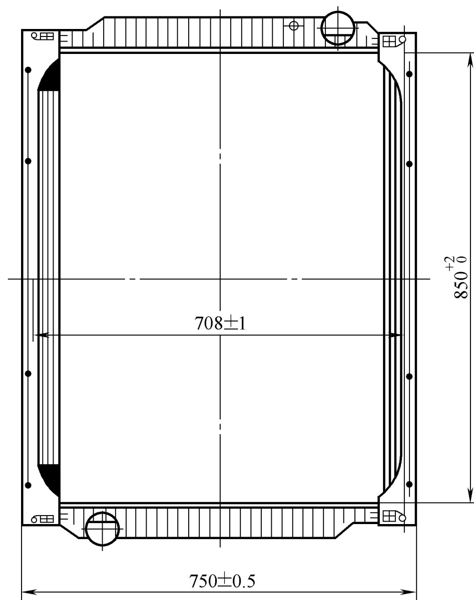


图 9-58 JNP4250N LNG 载货汽车散热器

2. 动力降低

试验表明，LNG 载货汽车在上坡时，由于行驶阻力增大，发动机往往在低转速、大转矩状况下工作，此时，由于 LNG 载货汽车气体燃烧做功爆发能力区域较窄，不能满足汽车重载上坡时的负荷要求，所以在上坡时就会出现动力不足现象。

因此，通过增大 LNG 载货汽车的散热量，使发动机燃烧温度降低，可以使发动机燃烧更加充分，有利于发动机在高温时动力得到充分的发挥，从而避免在上坡大转矩时出现动力下降的趋势。

改装 LNG 载货汽车时，应使冷却系统的散热性能高于一般的柴油机 20% ~30%，同时应使 LNG 载货汽车冷却系统的橡胶水管工作压力、工作温度等要求，优于同类型柴油载货汽车，这样才能保证 LNG 载货汽车的正常工作。

维修 LNG 载货汽车时：应对汽车的散热性能进行检查，重点对 LNG 载货汽车冷却系统的散热器堵塞、橡胶水管老化等情况进行判别，必要时清理散热器、更换橡胶水管。



图 9-59　汽车迎风面散热

四、加不进液化气

1. 液化气流向

LNG 要经过加液组件和进液单向阀才能进入气瓶，如图 9-60 所示。加液组件的液化气流通工作原理如图 9-60 所示。在充加 LNG 时，加气枪的机械力量把低温进液口顶开，LNG 被加气站装备的低温泵泵入加气管道，由于泵的压力，进液单向阀被打开，此时整条进液管路处于开启状态。

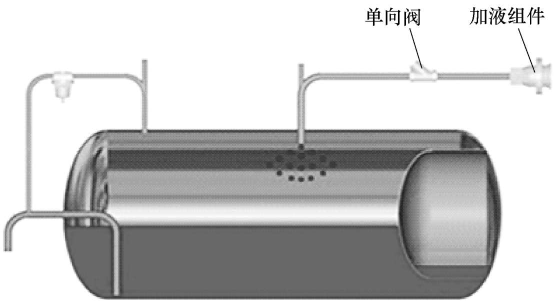


图 9-60　液化气流通工作原理

由于低温进液口和进液单向阀都只允许 LNG 单相流动（只能流向气瓶内，不能流向气瓶外），因此，停留在低温进液口和进液单向阀之间管道内的 LNG，被汽化成 LNG 气体后会进入气瓶内，不会引起管道超压破裂的危险。

2. 产生故障原因及处理

（1）故障表现形式

1）加液组件。LNG 从加液组件进入供气系统，流经加液组件时只能进入，而不能流出，因此加液组件实际上是起到单向阀的作用，如图 9-61、图 9-62 所示。图中加液组件呈开启状态，充加 LNG 时，加液组件被加气站的压力液化气顶开柱塞，压缩回位弹簧，LNG 流经柱塞、阀体、进液管道进入 LNG 输气管道。

柱塞与柱塞座之间有很小的 LNG 通道，LNG 中存在的细微砂粒等固体流经柱塞与柱塞座

时，若细微砂粒等固体卡在衬套与柱塞上，就可能使柱塞在阀体上卡死，由此产生堵塞现象。

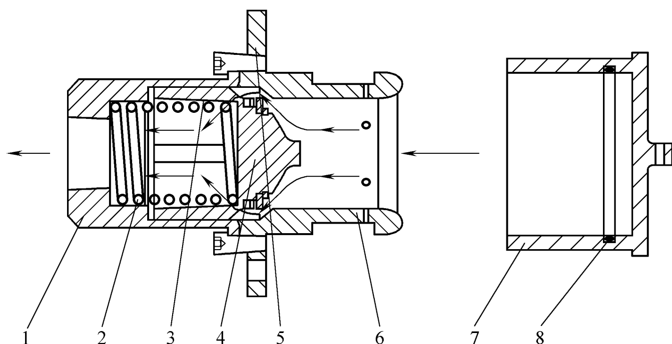


图 9-61　加液组件

1—阀体　2—回位弹簧　3—衬套　4—柱塞　5—法兰　6—柱塞座　7—加液组件盖　8—密封圈

2）进液单向阀。LNG 从加液组件流入单向阀，流经单向阀时只能进入，而不能流出，如图 9-62 所示。图中单向阀呈开启状态。充加 LNG 时，单向阀被压力 LNG 顶开柱塞，压缩回位弹簧，LNG 流经柱塞、阀体、进液管道进入气瓶。

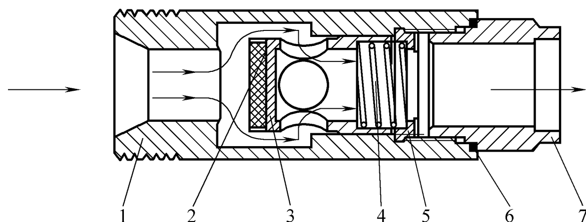


图 9-62　加液单向阀

1—阀体　2—密封片　3—密封衬板　4—回位弹簧

5—回位弹簧座　6—密封圈　7—阀体盖

密封片及密封衬板与阀体的液化气通道较小，液化气中存在的细微砂粒等固体随着液化气流经密封片及密封衬板与阀体的液化气通道时，极容易卡在液化气通道上，出现单向阀堵塞现象。

（2）故障分析判断

1）液化气里有细微杂质、砂子，在流经柱塞时，因柱塞与阀体间隙较小而卡住，加液组件无法打开加入液化气。

2）液化气里有水分，水分在低温情况下会结成冰粒，冰粒在流经柱塞时，因柱塞与阀体间隙较小而卡住，加液组件无法打开加入液化气。

（3）产生故障原因及检查排除故障　按照规定要求排空气瓶里的空气、降低充加液化气气瓶的压力、打开进液阀门，但是气瓶还是无法加入液化气。出现这种情况，主要是液化气里的杂质，将加液单向阀的阀门卡住。检查单向阀是否卡住的方法是：

1）用扳手轻轻敲击气瓶加液化气管口，若有杂质卡住，经敲击后杂质会松脱，这时阀门就不会卡住了。

2）若敲击无效，则拆下加液化气组件、单向阀，用高压气体对着单向阀管口反向、正向吹，也会吹掉杂质。

3）解体加液化气组件、单向阀，检查密封面有无划伤，若密封面没有划伤，则只需清除杂物，清洁密封面，按照拆卸逆序装配恢复原状。

4）解体加液化气组件、单向阀，若是冰块堵塞，需对零部件上的水分进行干燥处理

（干燥过程中，不得使用火焰），最后按照拆卸逆序装配恢复原状。

五、出气放空阀故障

1. 出气放空阀工作原理

当 LNG 载货汽车充加 LNG 之前，必须要将气瓶里汽化后的气态气体放出，俗称为“放空”，以便腾出气瓶内的气相空间，充加足够的 LNG。一旦出气放空阀组件失效，气瓶里的气态气体就放不出去，气瓶就无法充加足够的 LNG。出气放空阀结构如图 9-63 所示。

在充装 LNG 过程中，因温度的变化会有部分 LNG 被汽化，在充加 LNG 时，也会将这部分气相的天然气回收到加气站储气管路内或者直接放空，否则，气瓶压力会升高，导致无法加够标定储量的 LNG。

同时，LNG 载货汽车在充装 LNG 过程中，新加入气瓶内温度较低的 LNG 会将气瓶中温度较高的气体汽化，气态气体增加，气瓶压力上升。当气瓶充装完 LNG 后，气相空间变得很小，气瓶内的压力会上升很快，但是只要汽车上路行驶运行，气瓶内的压力就能马上降到液体原有饱和压力程度。

2. 产生故障原因及处理

气瓶里的气态气体从气瓶内流出时只能流出而不能流入，因此出气放空阀组件实际上是起到单向阀的作用，如图 9-63 所示。图中出气放空阀组件呈关闭状态，当需要放空气瓶内的气态气体时，打开保护罩，出气放空阀组件被加气站的压力排空枪顶开阀体、压缩压紧弹簧，气瓶里的气态气体经放空阀芯流经阀体上的通气口，从阀体座的间隙泄放出。

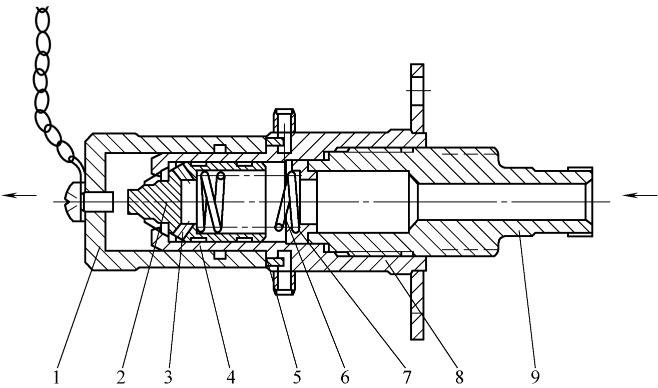


图 9-63　出气放空阀结构

1—保护罩　2—阀体　3—通气口　4—阀体座　5—密封圈　6—压紧弹簧　7—回位弹簧座　8—放空阀座　9—放空阀芯

（1）故障表现形式　柱塞与柱塞座之间有很小的液化气通道，气态气体中存在的细微灰尘、细砂等固体流经阀体上的通气口与阀体座时，若卡在阀体通气口与阀体座上，就可能使阀体在阀体座里卡住，从而使阀体无法运动，气态气不能排放出，而产生堵塞现象。

（2）排除故障

1）用干燥气体吹扫。

2）去除灰尘油污。

3）由于该阀门属于低温阀门，维修时应返厂。

第八节　天然气温度高造成动力性下降的原因

一、LNG 工作温度要求

气态气体的温度取决于 LNG 汽车冷却液温度的高低与流量大小。LNG 载货汽车冷却液温度越高，LNG 汽化能力就越强。在实际工作过程中，发动机燃烧工作温度要求范围很宽，但是 LNG 气态气体温度的高低，直接影响到 LNG 气态气体进入发动机混合器的密度，从而会影响到 LNG 载货汽车的动力性。JNP4250N 载货汽车要求进入发动机的进气温度为 -20～45℃为最佳，最高温度不得超过 75℃，一旦进气温度超过 75℃，JNP4250N 载货汽车 ECU 将会报警。同时，因为进气温度高，进气密度减少，混合气变稀，混合比减小，发动机燃烧变成为稀薄燃烧，这对发动机燃烧做功、动力的发挥是非常不利的。

注意：必须保持供气系统出口燃气温度在（发动机进口温度）-20～45℃，当燃气温度>60℃时，会导致燃气流量的减少。

若进入发动机的天然气温度过低，会出现发动机稀燃现象，天然气供气量减小，发动机动力不足，并会降低碳氢化合物排放，严重时会出现发动机喘振或熄火，燃气耗增高现象。

若进入发动机的天然气温度过高，发动机充气效率下降，进入气缸的空气密度减小，进气量也减小，由于发动机充气效率下降增大了混合气浓度，过浓的混合气燃烧时，会出现发动机爆燃、动力不足、排气温度增高等现象，从而使碳氢化合物排放增高。另外，由于发动机工作温度高，使发动机进气被加热，特别是加热发动机燃烧室内末端的混合气，会加剧着火前反应，这也是产生爆燃的原因之一。

而电子控制单元（ECM）具有过热保护功能，它会根据天然气进气温度，适时调节发动机的混合气供气量，通过降低发动机的功率从而减轻发动机的热负荷，来实现降低进气温度的目的。下面以 WP10336NGE40N LNG 发动机配装 JNP4250N 载货汽车为例来分析故障产生的原因。

二、工作温度高故障处理

（1）故障表现形式

1）当发动机冷却液温度在 90～95℃时，发动机 ECU 显示故障码“145”。

2）当发动机冷却液温度在 95～100℃时，发动机 ECU 显示故障码“281”。

3）此时发动机动力下降，并有可能出现熄火现象，待发动机熄火几分钟，冷却液温度下降至低于 90℃后，发动机的动力又会恢复。

（2）故障分析判断

1）发动机 ECU 显示故障码。

① ECU 显示故障码“145”，此故障为 LNG 发动机天然气进气温度较高引起，发动机动力有所下降。

② ECU 显示故障码“281”，此故障为 LNG 发动机天然气进气温度过高引起，发动机动力大幅下降。

WP10336NGE40 LNG 发动机要求天然气进气温度为 -20 ~ 45℃，当天然气温度超过 75℃时，ECU 就会报警。

2）天然气进气温度高。夏季在南方地区，随着环境温度、汽车冷却液温度的升高，LNG 汽化成气体的能量会有所增加，气态天然气温度也会相应增高，但进气密度会降低，进气量呈下降趋势。

3）发动机动力下降，并伴有熄火现象。当发动机冷却液温度超过 90℃时，天然气进气温度会超过 70℃，由于天然气温度升高，进气密度降低、进气量下降，发动机动力性会有所下降。

当冷却液温度超过 95℃时，天然气进气温度会进一步上升，此时，天然气流量会减少，天然气密度会进一步变得稀薄，同时，由于发动机燃烧时天然气进气温度的增高，燃烧会出现爆燃、燃烧不完全等现象，发动机动力会大幅度下降。

当冷却液温度、机油温度、进气温度分别达到限定值时，ECM 会进入过热保护功能，限制 LNG 发动机转矩的进一步提高。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）发动机 ECU 显示故障码。随着进气温度的增高，天然气的密度会有所降低，进入发动机混合器的天然气浓度有所降低，当天然气的温度达到限定值时，ECU 会出现故障码显示。

合理匹配汽化器的有效容积、降低发动机冷却液的温度、降低天然气进气温度，故障就会消失。

2）天然气进气温度高。当汽车仪表显示冷却液温度达到 90 ~ 95℃时，天然气进气温度高达 70 ~ 75℃，进入发动机混合器的天然气密度急剧降低，混合气浓度降低，但由于进气温度增高，发动机燃烧出现爆燃、燃烧不完全等现象，动力会瞬时下降。

增大散热器的散热面积，减小汽车前面罩对散热器进风量的遮挡，提高汽车散热能力，降低天然气进气温度，故障就会消失。

3）发动机动力下降，并伴有熄火现象。当冷却液温度超过 90℃时，应当减轻发动机的负荷（上坡时降低档位运行），提高汽车的速度，依靠汽车的迎风散热能力来降低冷却液温度，直至降低天然气进气温度，故障就会消失。

第九节　LNG 载货汽车冷却系统故障的判别处理

LNG 载货汽车冷却系统故障类别，与柴油载货汽车基本相同。由于 LNG 载货汽车燃烧温度高于柴油载货汽车，因此，对其冷却系统散热能力要求高于柴油载货汽车，同时，由于加热汽化器需要，汽化器进、回水路连接在 LNG 载货汽车冷却系统管路中。

冷却系故障主要表现为冷却液温度高或者冷却液温度低，LNG 汽车冷却液温度一般要求控制在 80 ~ 95℃的范围内。

冷却液温度过高，会造成发动机燃烧不充分，容易引起敲缸、爆燃，使活塞、活塞环、气缸套、气缸盖和气门等零部件的工作温度升高，同时机油变质和烧蚀严重，发动机功率下降，燃气耗、机油耗增加，发动机的运动副、摩擦副等零部件会因润滑不良而加剧磨损，极易早期损坏。

而冷却液温度过低，大量的热能被冷却液带走，热能损失增大，发动机的功率降低，同

时因为冷却液温度过低，会增大气缸套与活塞环的摩擦，发动机的燃气耗增大。

无论发动机冷却液温度过高或者过低，都会造成发动机气缸套与活塞环的非正常磨损，降低 LNG 载货汽车的使用寿命。

一、LNG 载货汽车冷却液温度过高故障的判别处理方法

LNG 汽车冷却液温度高，将影响到发动机的动力性、经济性、可靠性，只有正确分析、排除冷却液温度高的故障，才能保证汽车的正常运行。

（1）故障表现形式

1）动力下降、上坡降档。在重载上长坡时，出现动力不足现象，往往只能通过降低档位才能运行上坡。

2）燃气消耗量增加。在动力不足时，为了能保持汽车运行，往往通过踩下加速踏板来维持汽车的运行，这样就造成耗气量增大。

3）散热器缺水。由于冷却液温度高，散热器里的冷却液会很快蒸发，变成水蒸气或者沸水排出冷却系统，造成缺水现象。

4）膨胀水箱翻水。冷却液温度高时，冷却系统就会产生高于膨胀水箱溢流管的压力，冲开膨胀水箱泄压阀，冷却液从膨胀水箱溢流管往外溢出，如图 9-64 所示。膨胀水箱结构如图 9-65 所示。

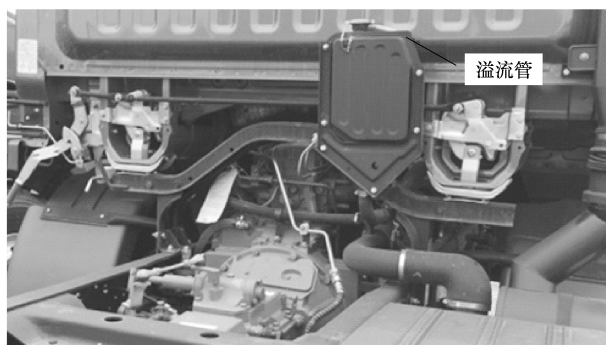


图 9-64　冷却液往外溢流

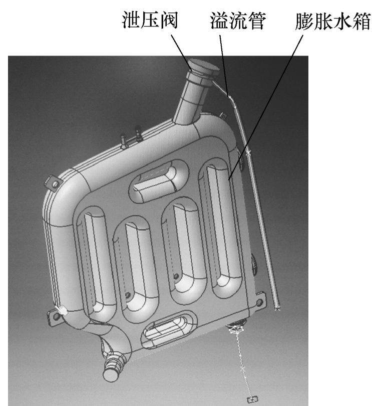


图 9-65　膨胀水箱

5）机油变质、结胶。由于冷却液温度高，活塞、活塞环、气缸套、气缸盖和气缸体等零部件的温度也会升高，在润滑过程中，机油吸收发动机的热量，从而将发动机的热量传给机油。机油长期在高温环境下工作会造成变质、结胶，结胶层会粘附在活塞裙部及活塞环槽上，如图 9-66 所示。



图 9-66　机油结胶

6）机油耗量增大。由于燃烧室的高温燃气窜入曲轴箱，使曲轴箱的温度也升高，机油在高温下会产生油气，伴随着活塞、活塞环的往复运动，油气会顺着气缸套内壁进入发动机燃烧室燃烧。同时，这种油气也会随着曲轴箱通风排出发动机，从而造成机油消耗

量增大。

7）发动机气缸体、气缸盖变形，冲气缸床（气缸垫）。由于冷却液温度高，发动机燃烧室相关的零部件，如气缸体、气缸盖等长期在高温状态下工作，会因此而产生翘曲变形。一旦发动机气缸体、气缸盖变形（图 9-67），就会使气缸体、气缸垫与气缸盖密封不严，出现冲气缸床（气缸垫）现象，如图 9-68 所示。

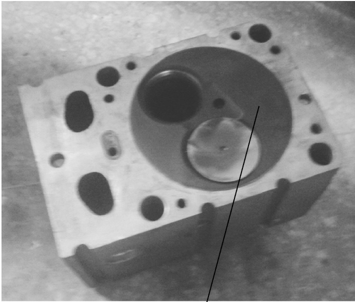


图 9-67　气缸盖变形

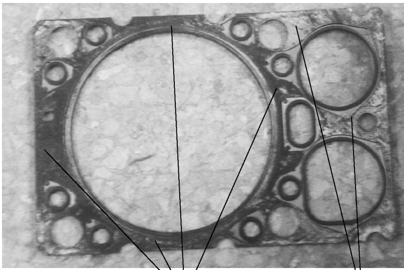


图 9-68　气缸垫密封失效

当冷却液温度达到 100℃，俗称“开锅”时，会导致气缸盖、气缸体接合平面挠曲变形甚至损坏，气缸套与活塞、活塞环因散热量不足，温度高而拉缸，如图 9-69、图 9-70 所示。

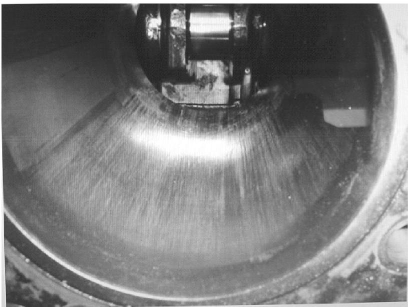


图 9-69　气缸套内孔拉缸伤纹

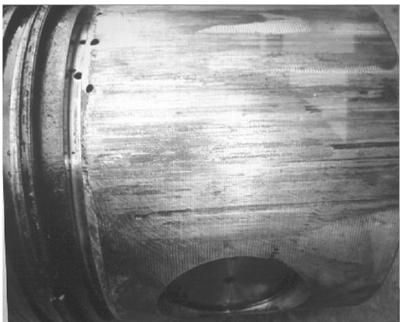


图 9-70　活塞裙部伤纹

8）发动机活塞环发卡。

① 由于机油变质，活塞、活塞环槽被烧结的胶状物粘滞，活塞环会在活塞环槽内卡死，如图 9-71 所示。

② 冷却液温度高，活塞、活塞环材料在高温下出现不同程度的收缩变形，活塞环槽收缩减小，活塞环在活塞环槽内发卡，如图 9-71 所示。

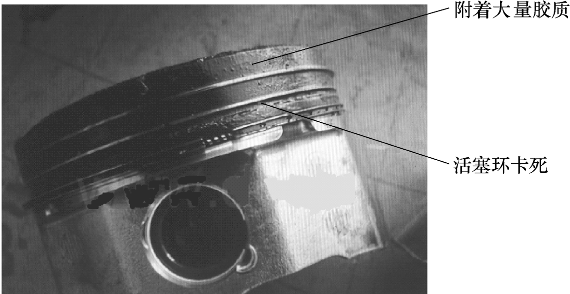


图 9-71　活塞环卡死

9）气缸套早期磨损。由于冷却液温度高，气缸套内壁在高温下粘滞的机油减少，活塞、活塞环与气缸套的摩擦

加大，因此，气缸套的磨损会加剧，在短期内就会磨损严重（早期磨损），如图 9-72 所示。



图 9-72　气缸套早期磨损

10）连杆轴瓦、连杆衬套、曲轴轴瓦等零件高温烧蚀。由于冷却液温度高，机油的温度也相应增高，机油膜难以形成，连杆轴瓦、连杆衬套、曲轴轴瓦表面的巴氏合金在长期高温下会出现烧蚀、剥落麻点等现象，如图 9-73 所示。



图 9-73　轴瓦烧蚀

（2）故障分析判断

1）整车冷却系统匹配不合理。整车冷却系统由发动机水泵、风扇、节温器、发动机气缸体水套、气缸盖水套、整车护风圈、散热器和冷却水管等组成，如图 9-74 所示。在设计冷却系统时，所有相关零部件都要以冷却系统的散热能力为目标，尤其是发动机冷却系统和整车冷却系统的合理匹配至关重要。

LNG 载货汽车出现冷却液温度高，主要原因是整车冷却系统散热能力不能满足 LNG 发动机的散热需求，散热器正面面积较小，整车前面罩遮挡迎风面较大等。

2）空气与燃气混合比不好、燃烧不充分。因为天然气与洁净空气混合比未能达到最佳，发动机燃烧不好，致使发动机冷却液温度高。

3）散热器散热芯管堵塞。散热器里的泥沙、水垢堵塞散热器芯管，如图 9-75、图 9-76 所示，使冷却液流量大幅减少，造成发动机冷却液温度高 。

4）点火线圈失效。点火线圈失效后，间断点火或者无法点火，使发动机气缸不工作或者间断工作，这样就会造成发动机断缸工作（某一缸或者几缸不工作），燃烧温度高，致使冷却液温度较高。

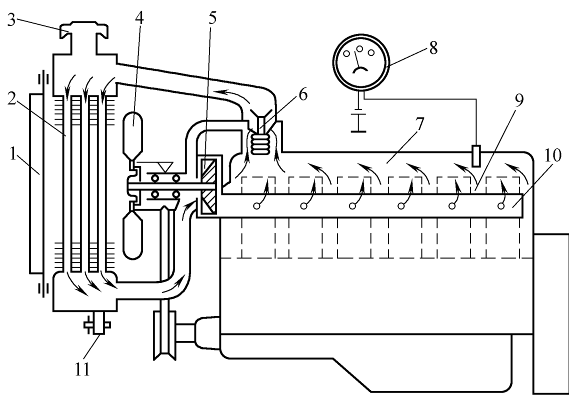


图 9-74　LNG 发动机冷却系统

1—百叶窗　2—散热器　3—膨胀水箱　4—风扇　5—水泵　6—节温器　7—气缸盖水套　8—冷却液温度表　9—气缸体水套　10—水管　11—放水阀

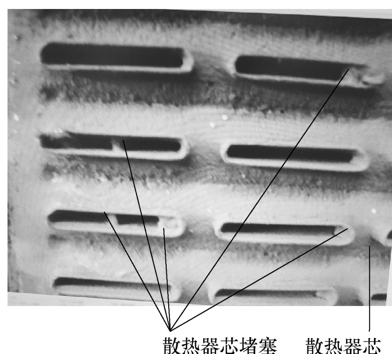


图 9-75　散热器芯有杂质

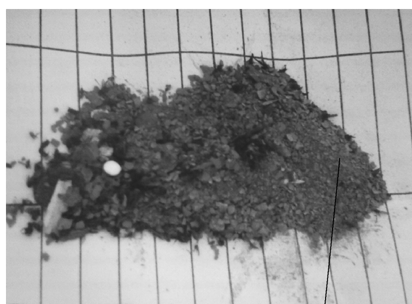


图 9-76　散热器里的锈斑

5）膨胀水箱泄压阀失效。膨胀水箱泄压阀失效后，泄压阀就没有压力，处于常开状态，发动机工作时产生的压力，会直接将冷却液流经泄压阀排出膨胀水箱，致使冷却系统缺水使冷却液温度升高。

6）节温器失效。节温器失效汽车大循环未打开，冷却液始终进行小循环，如图 9-77 所示，而无法经过散热器进行散热。

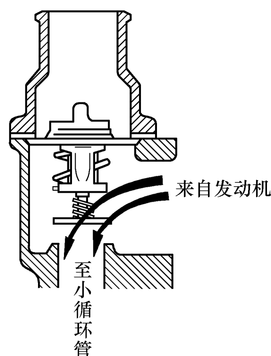


图 9-77　节温器小循环

7）冷却液沸点低。采用自来水、河水、雪水等作为冷却介质，水的沸点不超过 100℃，不能适应重型载货汽车的正常工作温度需要。

8）膨胀水箱膨胀空间小。膨胀水箱安装高度应足够高，以形成较大的水压，同时，膨胀空间应占总膨胀容积的 1/3 ~ 1/2，以利于膨胀水箱形成一定的膨胀空间，有利于高温气泡的排出。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）整车冷却系统匹配不合理。

故障原因：整车冷却系统的匹配必须根据 LNG 载货汽车的负荷、发动机燃烧效率、汽车载货量和汽车运行路面等情况进行冷却系统散热能力的计算。LNG 载货汽车散热能力应高于柴油载货汽车 20% 左右，才能满足其散热要求。

排除故障：根据 LNG 发动机的燃烧热负荷，LNG 载货汽车的排气温度、排气背压等相关试验数据，合理计算、匹配整车散热系统的散热能力。

2）混合比不好、燃烧不充分。

故障原因：当氧传感器、天然气温度传感器损坏后，ECM 无法根据发动机燃烧需要调整空燃比、修正燃气供给量，所以天然气与洁净空气混合比未能达到最佳燃烧要求，致使冷却液温度高。

排除故障：更换失效的氧传感器、天然气温度传感器，保证各种传感器正常工作。

3）散热器散热芯堵塞。

故障原因：未按规定牌号使用防冻液，或者没有使用防冻液，采用河水、井水、自来水，因为冷却液里有泥沙，或者燃烧后产生大量的矿物质、水垢堵塞散热器，如图 9-75、图 9-76 所示，使冷却液流通阻力增大，流速缓慢，冷却液温度增高。

排除故障：按规定要求使用防冻液，避免产生水垢堵塞散热器芯。

4）点火线圈、火花塞失效。

故障原因：点火线圈、火花塞长期在高温下工作，极容易出现烧蚀，使相对应的气缸出现不工作或者间断工作现象，这样就会造成发动机燃烧不完全，出现冷却液温度高现象。

排除故障：按规定保养周期和保养要求对点火线圈、火花塞进行保养，保证点火线圈、火花塞必需的性能要求。

5）膨胀水箱泄压阀失效。

故障原因：膨胀水箱排气口泄压阀是由弹簧控制的，如图 9-78 所示。泄压阀弹簧压力是根据冷却系统压力要求而设置的，当弹簧失效后，泄压阀就没有压力，处于常开状态，发动机工作时产生的压力会直接将冷却液流经泄压阀排出膨胀水箱，致使冷却系统缺水而使冷却液温度高。



图 9-78 泄压阀

排除故障：出现此种情况，更换一个新的泄压阀，检查新泄压阀是否能在发动机冷却液温度正常情况下打开，以此判别原泄压阀失效与否。

6）水泵传动带打滑。

故障原因：发动机水泵由曲轴带轮通过传动带传动水泵带轮，从而驱动水泵叶轮旋转，产生水压、扬程作用，而形成冷却液循环。在使用一段时间后传动带会变形，传动带挠度会增加，从而使水泵转速下降、压力降低、水泵流量会有所减少，也会造成冷却液温度高现象。

排除故障：按规定要求调整传动带的松紧度（挠度），消除传动带打滑现象，保证水泵转速、流量要求。

7）未使用防冻液。

故障原因：由于未使用防冻液，冷却液的沸点低，出现“失水”现象，同时，因为未使用防冻液，散热器芯堵塞，冷却液流量减少。

排除故障：为了保证冷却系统的散热效率，应当按规定牌号使用防冻液。在更换防冻液时，必须放完冷却系统里面的防冻液，并清洗干净冷却系统。同时，应当避免不同牌号、不同品质的防冻液混合使用，以免混合后产生化学反应，达不到防冻液应有的效能要求。

（4）冷却液温度高整车简易判断法

1）检查冷却液液面是否符合要求，冷却液补给间隔时间是否正常。

2）在发动机运行时，检查膨胀水箱内液面“翻水”情况。若膨胀水箱内液面“翻水”平稳，表示冷却系统工作正常；若液面“翻水”不平稳，呈冲击波涛状态，则说明冷却液里面存在高温气体。

3）如果发动机出水管口处很烫手，而散热器出水管口处不热，此时应排除散热器不通的故障。

4）散热器表面上部很烫手，下部不热，上下部温度差较大，说明散热器存在堵塞现象，冷却液循环不好。

LNG 汽车冷却液温度高涉及因素很多，在分析时应结合故障模式、故障类别进行判断，

而发动机的动力衰减、机油变质、冷却液变色有杂质、经常补加水、冲气缸床（气缸垫）等现象是冷却液温度高的基本表现特征。根据这些现象，就能分析判别冷却液温度高的故障，并为正确处理故障打下基础。

二、LNG 载货汽车冷却液温度过低故障的判别处理方法

LNG 载货汽车冷却液温度过低，发动机燃烧中的热效率损失过大，也会使发动机动力不足，造成发动机气缸套、活塞环、活塞等运动零部件摩擦副早期磨损，给发动机的正常工作带来不利的影响。

（1）故障表现形式

1）发动机动力不足。LNG 载货汽车载重量无法达到额定载重吨位，加速性能差，汽车行驶速度低。

2）汽车负载运行时，仪表显示冷却液温度低于 80℃，不能达到 85～95℃的正常范围。

3）发动机气缸窜气。从曲轴箱通风窜出大量气体，随着发动机转速增高，窜气量也相应增大。

4）机油粘度大。汽车仪表板上显示机油温度较低，正常情况下，机油温度应当在 90～120℃范围内。

（2）故障分析判断

1）发动机动力不足。

① 冷却液温度低。当冷却液温度低于 60℃时，机油粘度增大，发动机气缸套与活塞环、曲轴与曲轴瓦等运动副的摩擦增大、磨损增加，发动机有效功率降低，动力下降，燃气耗增加。

② LNG 汽化不良。由于冷却液温度低，汽化器汽化能力降低，进入发动机燃烧所需要的 LNG 气态气体量减少，混合气变稀，发动机动力不足。

2）汽车仪表板上显示冷却液温度低。

① 汽车大循环处于常开状态。节温器失去调节、控制功能，冷却液长期进行大循环，水流散热量过大，汽车处于过冷现象。节温器进行大循环如图 9-79 所示。

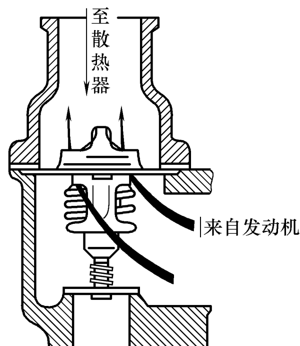


图 9-79　节温器进行大循环

② 电子风扇失效。风扇长期在高转速状况下运行，汽车散热量过大，冷却液温度低。

3）发动机气缸窜气。如果冷却液温度过低，机油粘度增加，气缸套与活塞环润滑条件变差，摩擦增大、磨损加剧，由于气缸套早期磨损，气缸孔变形，气缸套与活塞环密封性降低，发动机燃烧室的压力降低，燃烧室中的混合气经活塞环与气缸套内孔壁窜入曲轴箱排出。

试验表明，汽车行驶时冷却液温度为 45～55℃时，发动机磨损会增加 50%～70%，功率降低 25%，燃气耗增大 8%～10%。

为减少摩擦、磨损，在冷却液温度未达到节温器开启温度之前，LNG 载货汽车不得大负荷、高速运行。

4）未使用防冻液。未使用防冻液而采用自来水、河水、雪水等作冷却介质，当环境温度达到 0℃时，冷却液会结成冰。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）节温器失效。

故障原因：节温器失效后，节温器开启行程不够，或者节温器小循环阀门打不开，大循环一直处于工作状态，发动机冷却液温度升高缓慢。

排除故障：检查节温器失效与否，节温器失效的检查方法见第三章第七节，视情况更换节温器。

2）拆除节温器。

故障原因：节温器小循环、大循环同时处于工作状态，发动机冷却液温度升高比未拆除节温器慢 4 ~5 倍。

排除故障：检查节温器开启行程，节温器开启行程的检查方法见第三章第七节，视情况更换节温器。

3）环境气温极低。

故障原因：冬季在寒冷地区，LNG 载货汽车未采取保温措施，冷却液温度过低。

排除故障：冬季在寒冷地区，LNG 载货汽车应当适当遮挡整车前面罩，减小汽车的迎风面。

4）电磁离合器风扇失效。

故障原因：电磁离合器风扇失效后，发动机风扇在冷却液温度较低时，随同发动机高速旋转，冷却液温度上升缓慢，冷却液会出现过冷现象。

排除故障：当电磁离合器风扇与发动机转速同步运转时，就应当判明是电磁离合器风扇失效，此时，应当视情况更换电磁离合器风扇。

5）冷却系统配置不当。

故障原因：LNG 载货汽车的冷却系统零部件，如散热器的散热面积、风扇直径、电磁离合器风扇的开启温度、LNG 载货汽车前面罩迎风面大小等参数，都应当根据 LNG 载货汽车的使用地区环境温度来匹配。

同时，在寒冷地区工作环境，节温器的开启温度应适当提高，使发动机大循环开启温度有所提高，以减少散热量。

排除故障：根据汽车运行地区的环境温度，合理选择电磁离合器的开启温度、风扇直径、节温器的开启温度等参数。

6）未使用防冻液或者防冻液牌号选用不当。

故障原因：LNG 载货汽车在冬季寒冷地区行驶，未使用防冻液或者防冻液牌号选用不当，都会造成冷却液结冰。

排除故障：按 LNG 载货汽车行驶地区的环境温度情况，选用不同沸点的防冻液牌号。

三、怎样正确使用、更换防冻液

防冻液的正确使用，是避免冷却液温度过高、过低的基本方法之一，也是 LNG 载货汽车正常运行的重要条件。

1. 防冻液特点

1）防锈、防腐蚀。防冻液不仅不会对发动机冷却系统造成腐蚀，还具有防腐和除锈功能，可以避免发动机气缸体、气缸盖水腔生锈，保证冷却液流动畅通。

2）沸点高。水的沸点是 100℃，优质防冻冷却液的沸点通常在 110℃，即使在夏季使

用，防冻冷却液比水更不易“开锅”。

3）防冻液可以防垢。冷却液加热后，极易产生水垢粘附在散热器芯表面，发动机气缸体、气缸盖水腔的金属表面，使冷却液流速、流量减少，散热效率降低。

2. 防冻液的更换

1）拧下膨胀水箱加水盖，打开散热器放水阀，放净 LNG 发动机和汽车内需更换掉的冷却液。

2）将一根连接于自来水管的橡胶管插入膨胀水箱加水口，打开水龙头，使自来水连续不断地流经发动机冷却系统，对发动机冷却系统进行冲洗。在冲洗操作时，要使发动机怠速运转，直至散热器放出清水为止。

3）关上水龙头，待冷却系统的水放尽后，再关上散热器放水阀。

4）冲洗防冻液储液罐。

5）从膨胀水箱加水口加入防冻液，使防冻液充满散热器，并达到“FULL”刻度线。注意不要超过“FULL”刻度线。

6）盖上膨胀水箱盖，并拧紧。

7）起动发动机，怠速运转 2～3min，拧开膨胀水箱盖。这时冷却系统由于排除了部分空气，防冻液液面将降低，应再补充防冻液，加至膨胀水箱“FULL”刻度线。

8）盖好膨胀水箱盖，并拧紧。

注意，严禁在防冻液温度很高的情况下打开膨胀水箱盖或放水阀，以免烫伤。

3. 防冻液的正确使用

1）如果发动机冷却系统原先使用的是水，或者使用的是另一种牌号防冻液，在加入新的防冻液之前，要把冷却系统中原防冻液放干净，使用双效合一的除垢、除锈散热器清洗剂，对冷却系统进行彻底清洗。

因为防冻液中加有除垢剂和清洗剂，使用前如果没有对发动机冷却系统进行认真的清洗，而直接加入防冻液后，发动机冷却系统中原有的水垢与防冻液接触后脱落，使防冻液变浊、变稠，甚至变色、变味，严重时堵塞水管、水道或沉淀在散热器下部弯管接头部位，造成散热不良。

2）在更换新防冻液前，要首先放掉发动机和整车冷却系统中原有的防冻液。因经过长时间的高温使用，原有防冻液的冰点会下降，还有可能使防冻液在长期使用过程中变浑浊，影响发动机散热性能，减少使用寿命。

在更换防冻液时，不管采用哪种方式放防冻液，都不可能将发动机和汽车冷却系统中的全部防冻液放干净，在发动机水套、散热器等地方依旧会残留不少防冻液。因此在更换防冻液时，应尽量选择原厂指定的防冻液，一定要避免不同品牌、不同型号的防冻液混用的情况发生。

因此，不能采取添加、补充防冻液的方法，在防冻液失效时，应当采取更换而不是添加防冻液的方法。

3）加注防冻液前，要对发动机和汽车冷却系统进行全面彻底的检查，如有渗漏现象，应及时排除后才能加注防冻液。应随车携带一些防冻液，以备汽车行驶途中短缺时补加。

4）禁止直接加注浓缩液，不要误认为防冻液越纯越好（乙二醇浓度越大越好）。直接加注浓缩防冻液，这样做不但不能满足防冻液对冰点的要求，反而会出现一些意想不到的现象，如浓度大、密度大、低温粘度增大以及发动机温度高等现象。

注意：在使用浓缩防冻液时必须按要求进行调制，禁止直接使用。

5）定期检查防冻液液面高度，使防冻液液面高度符合规定要求。如果冷却系统中设置防冻液补偿系统，在发动机运转至冷却液温度正常时，膨胀水箱的液面高度应保持在最低位置和最高位置标记范围内。若无膨胀水箱，由于防冻液的膨胀率一般比水大，防冻液只能加到冷却系统容积的95%，以免防冻液溢出。当防冻液不足时，要用同一品牌、同一型号的防冻液补充。

6）不同厂家、不同牌号的防冻液其生产配方会有所差异，如果混合使用，多种添加剂之间很可能会发生化学反应，造成添加剂失效，破坏各自的综合防腐能力，引起沉淀、结垢和腐蚀等危害，从而影响发动机的使用寿命。

7）乙二醇的吸水性强，储存的容器应密封，以防吸水后溢出。用剩的防冻液应在容器上注明名称以免混淆，并置于安全场所。

8）应保持常年使用防冻液，要注意防冻液使用的连续性。那种只在冬季使用防冻液，而到夏季需要补加时，则加入普通冷却水，一直到冬季才更换防冻液的做法是错误的。这样就忽视了防冻液的防腐、防沸、防垢等作用，容易造成发动机冷却系统零部件损坏，使金属部件会产生氧化腐蚀。

9）定期检查防冻液的技术指标。防冻液的有效期通常为2～3年，加注后不要随意更换，但是，应对使用中的防冻液定期进行技术指标检查，一般结合换季保养进行，正常情况下防冻液的使用周期不得超过一年。使用中应经常检查防冻液的使用情况，检查内容包括外观、冰点、密度和pH等，发现防冻液变蚀、变质、变味、发泡，有悬浮物、沉淀物，密度增大、变稠，冰点上升，pH低于7.5或高于11.0等情况时，应及时报废更换。

10）不要把正常现象看做异常。防冻液的沸点高，水的沸点在101.3kPa环境条件下为100℃，乙二醇型防冻液沸点在106℃以上，加注防冻液的发动机比用软化水冷却的温度要高出6℃左右，使用防冻液后，温度虽然高，却不易“开锅”。这有利于提高发动机热效率、节省燃料。冷却液的沸点达到106℃属于正常现象，所以不应把正常现象看做异常，人为地降低发动机温度。

4. 使用、更换防冻液注意事项

1）检查防冻液的冰点、沸点是否同车辆行驶地区范围的最低温度相适应（一般使用冰点应高于实际使用最低温度5℃以上）。

2）防冻液与水的比例为40:60时，冷却液沸点为106℃，冰点为－26℃；当为50:50时，冷却液沸点为108℃，冰点为－38℃。一般要求按照低于当地最低温度5℃左右配制冷却液。

3）冰点是防冻液质量的一个重要指标，普通型的防冻液都可达到－40℃，而优质的防冻液应能达到－60℃左右。水的沸点是100℃，而防冻液至少应达到106℃以上。也就是说冰点越低、沸点越高，其中的温差越大，相对来说防冻液的品质就越好。

4）一般刚行驶过的热车在熄火后30min，冷却液温度就会明显下降，此时就可以开始更换防冻液了。若在发动机处于高温的状态下更换防冻液，会有烫伤的风险，同时在“热车”时放掉防冻液也会影响到汽车的降温。

5）更换防冻液时应清洗冷却系统，清洗的方法是用一根橡胶软管插入膨胀水箱加水口，并源源不断地注入清水，同时放水口保持开启，让清水从底部顺畅流出，在清洗的过程中还需起动发动机怠速运行 3 ~ 5min,，并打开暖风，让清水循环起来。这样做的目的是使得汽车内旧防冻液能全部流出。如果清洗流出的水由淡粉色或者淡蓝色变成了无色清水，就说明清洗工作完成了。

四、LNG 载货汽车冷却系统大循环打不开故障的判别处理方法

LNG 载货汽车冷却系统大循环打不开，冷却液只能进行小循环，这样会造成冷却液温度高、发动机动力下降、机油变质结胶、活塞与活塞环烧蚀。

（1）故障表现形式

1）冷却液温度升高很快。发动机起动后，短时间内冷却液温度就出现“开锅”。

2）泄漏阀泄水。泄漏阀泄水管冒气泡、泄水。

3）冷却系统加水频繁。LNG 载货汽车在行驶中缺水，需经常补加水。

（2）故障分析判断

1）冷却液温度升高很快。节温器失效，冷却系统大循环无法打开，发动机冷却液从小循环流回发动机冷却系统，冷却液的热量无法及时散去。随着发动机燃烧过程中产生的热量不断增加，冷却液温度升高很快，并在短时间内达到“开锅”。

2）泄压阀泄水。节温器失效后，冷却系统大循环无法打开，发动机燃烧中产生的高温燃气进入膨胀水箱后，超过泄压阀开启压力，就会顶开泄压阀阀门，从泄压阀泄水管向外泄水，并将发动机燃烧中产生的高温气体排出（冒气泡）。

3）冷却系统加水频繁。发动机运转中，由于膨胀水箱泄压阀不断地向外排水，因此，随着排水量的加大，冷却系统就会缺水，需经常给冷却系统补加水。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）节温器主阀门脱落或者卡死、节温器长期处于未打开状态。

故障原因：由于防冻液、冷却液变蚀、变质，节温器主阀门被腐蚀、变形，造成主阀门脱落或者卡死。

由于节温器主阀门长期处于关闭状态无法打开，冷却系统无法进行大循环，冷却液的循环路线均是由水泵泵水，经气缸体水套、气缸盖水套冷却后流经节温器小循环水管后，又由水泵泵回气缸体，即形成所谓的小循环。这样冷却液就无法流经散热器散热，势必造成发动机冷却液温度过高，直至“开锅”。

排除故障：按要求使用防冻液，一旦防冻液出现变蚀、变质、变味和发泡现象，有悬浮物、沉淀物并变稠后，就马上更换防冻液。

2）节温器长期处于打开状态。

故障原因：节温器支架、阀门变形，推杆弯曲变形以及石蜡泄漏等原因造成节温器失效。

因节温器失效失去控制，节温器主阀门不能回位关闭，大循环通道一直打开，冷却液循环路线一直是由水泵经气缸体水套进入气缸盖水套、出水管到散热器。这样，在汽车起动时（尤其在冬季），发动机冷却液的温度上升很慢，使发动机不能在正常的温度下工作。

排除故障：按汽车运行使用环境温度，选用防冻液牌号，保持防冻液清洁，杜绝防冻液出现变蚀、变质、变味和发泡现象，当防冻液有悬浮物、沉淀物、变稠后，就马上更换防冻液。

3）节温器检查。

节温器的检查一般都应在车上进行，常用的检查方法为：

① 用冷却循环水流检查。起动发动机后，将发动机从怠速逐渐提高至高速运转，打开膨胀水箱加水口盖，观察膨胀水箱冷却液循环是否流动，如冷却液没有进行循环，则表示节温器失效。

根据节温器工作原理，在冷却液温度低于节温器初开温度时，节温器主阀门关闭，冷却液进行小循环，从膨胀水箱加水口处观察，冷却水流平静。而当冷却液温度升高到全开温度以上时，节温器主阀门逐渐增大开启，随着节温器主阀门的进一步开大，散热器冷却液循环流速也加大，从膨胀水箱加水口处，可见到冷却液流动出现的“翻水”现象。冷却液“翻水”随着发动机转速的升高而加大。

② 通过散热器进出水管的温度差来判别。用手摸散热器进、出水胶管外表，如果发动机出水胶管处很烫手，而散热器进水管口处和出水管口处均不热，则可断定节温器失效（此时应当排除散热器不通的故障）。这是因为发动机的冷却液未能进行大循环，发动机的热水没有流经散热器冷却，而引起发动机冷却液温度高。

③ 冷却液温度升高判别。发动机工作一段时间后检查、观察发动机冷却液温度表，当冷却液温度表显示 75℃（如表 9-3 节温器初开温度），即达到主阀门开启温度，此时冷却液升温速度较缓慢，说明节温器工作正常。反之，则表示节温器工作失常。此故障大都是节温器主阀门脱落，并横卡在散热器进水管内，阻碍了冷却液的大循环所致。

④ 节温器行程判别。节温器行程是判别节温器失效与否的一个重要参数，不同的节温器，其开启温度与行程是不一样的。表 9-3 是国内某载货汽车节温器主阀门开启的温度、行程参数。

表 9-3 节温器开启温度、行程参数

标定温度/℃	初开温度/℃	全开温度/℃	全开行程/mm	备注
71	71 ± 2	83	⩾11	
75	75 ± 2	90	⩾11	
80	80 ± 2	92	⩾11	
83	83 ± 2	95	⩾11	

五、LNG 载货汽车冷却液温度调节故障的判别处理方法

LNG 载货汽车冷却液温度合理的控制与调节，是保证 LNG 发动机正常工作的重要条件。当前，LNG 载货汽车冷却液温度调节与控制，主要还是采用蜡式节温器来完成。

1. 蜡式节温器工作原理

节温器里的石蜡固体会随着冷却液温度的升高加热石蜡感应器体，石蜡感应器体受热后加热融化石蜡，通过石蜡熔化后的体积变化克服压缩弹簧的变形，来推动主阀门、副阀门（旁通阀）开启、关闭，从而实现发动机大循环、小循环通道开启和关闭的目的。

节温器感应体内的精制石蜡呈固态，节温器阀门在弹簧的作用下关闭发动机与散热器之间的通道，冷却液经水泵返回发动机，进行发动机的小循环。当冷却液温度达到规定值后，石蜡开始熔化逐渐变为液体，体积随之增大并压迫橡胶管使其收缩。在橡胶管收缩的同时，对推杆作用向上的推力，推杆对阀门有向下的反推力使阀门开启，如图9-80所示。

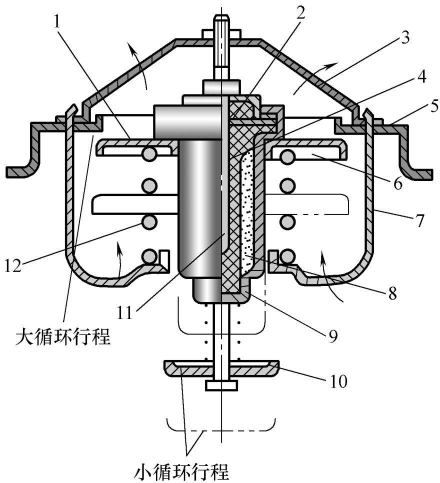


图 9-80　节温器结构示意

1—主阀门　2—盖、密封垫　3—上支架　4—橡胶管　5—阀座　6—通气孔　7—下支架　8—石蜡　9—感应体　10—副阀门（旁通阀）　11—推杆　12—弹簧

2. 节温器阀门的开启、关闭

节温器阀门的开启、关闭过程，实际上是完成发动机冷却液温度控制与调节的过程。LNG 载货汽车采用双节温器来实现冷却液温度的控制与调节，由于双节温器阀门开启行程的叠加，如初开温度为 75℃、全开温度为 90℃的节温器组合在一起使用，全开行程的开启时间、过程将加长（两节温器的开启行程之和），因此可以加大节温器大循环冷却液的流量，使发动机在高温工作区域大大缩短，有利于发动机较长时间处于最佳冷却液温度范围内工作，达到冷却液热平衡，发动机的热效率能得到充分有效的发挥。图 9-81 ~ 图 9-83 所示是双节温器组合使用，以及冷却液温度控制与调节过程。

当发动机冷却液温度升高到节温器全开温度时，主阀门完全开启，副阀门（旁通阀）完全关闭，冷却液全部流经散热器，称为大循环，从而保证发动机不会过热。节温器随着冷却液温度高低，改变冷却液的循环路线和流量，从而保证发动机在最佳的温度下工作。

节温器调节过程：

1）当冷却液温度小于 75℃时，节温器主阀门关闭、副阀门（旁通阀）开启，此时冷却液不流经散热器冷却，全部流经水泵进入发动机，发动机冷却液温度呈上升趋势，此时，冷却液进行小循环，如图 9-81 所示。

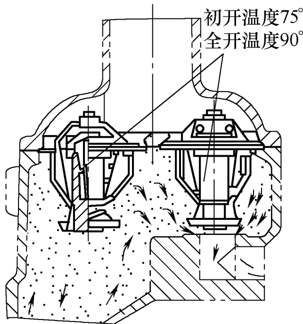


图 9-81　冷却液小循环

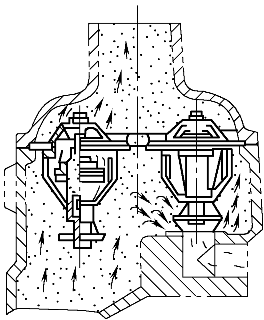


图 9-82　冷却液大循环、小循环

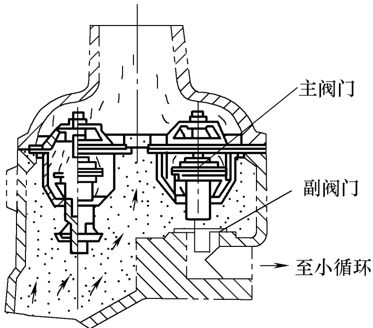


图 9-83　冷却液大循环

2）当冷却液温度在 75 ~ 90℃时，节温器主阀门逐渐开启、副阀门（旁通阀）逐渐关闭，此时冷却液一部分流回发动机，一部分流入散热器冷却，发动机冷却液温度呈下降趋势，冷却液小循环、大循环同时进行，如图 9-82 所示。

3）当冷却液温度超过 90℃时，节温器主阀门全部开启、副阀门全部关闭，此时冷却液全部流入散热器冷却，发动机冷却液温度快速下降至 75℃以下，此时，冷却液进行大循环，如图 9-83 所示。

当冷却液温度下降至 75℃以下时，节温器主阀门全部关闭、副阀门（旁通阀）又逐渐开启……周而复始，冷却系统进行循环。

3. 节温器故障及处理

（1）故障表现形式

1）节温器开启行程不够。节温器行程不能完全打开，冷却液部分流经大循环，发动机冷却液温度高。

2）节温器打不开。节温器主阀门不能打开，冷却液全部流经小循环，发动机冷却液温度高。

3）主阀门变形关闭不严。大循环不能有效关闭，处于常开状态，冷却液温度升高缓慢。

4）主阀门变形关闭不严。小循环不能有效关闭，处于常开状态，发动机冷却液温度高。

（2）故障分析判断

1）石蜡泄漏。节温器感应体有裂纹，感应体内石蜡泄漏，石蜡与冷却液混为一体后，节温器行程开启不完全或者不能打开。

2）感应器体腐蚀、变形。冷却液使用期限过长，未定期更换，冷却液变质，或者混合使用不同牌号的防冻液，造成感应器体腐蚀、变形。

3）石蜡老化。LNG 载货汽车长期在高温环境下使用，节温器的工作温度较高，或者节温器使用期过长，都会造成石蜡老化。

4）节温器支架、阀门变形和腐蚀。LNG 载货汽车长期在高温环境下使用，支架、阀门等零部件材料失效变形。

5）感应器体内橡胶管老化、变形。由于工作温度高，橡胶性能衰退。

6）推杆变形、弯曲。工作环境温度变化差异大，节温器开、闭过于频繁，并且承受一定冲击负荷。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）石蜡泄漏。

故障原因：故障主要原因是因为节温器使用周期过长，感应体失效老化、出现裂纹，节温器无法按时开启和关闭。

排除故障：

检查石蜡有无泄漏：拆卸节温器，放入沸水量杯中，观察感应体表面有无石蜡泄漏。

检查节温器开启温度：拆卸节温器，放入烧杯中，烧杯中同时放入温度计，用电热炉加热烧杯中水至节温器初开温度时，检查节温器是否打开。

检查节温器行程是否符合要求：拆卸节温器，放入烧杯中，烧杯中同时放入温度计，当烧杯中水达到节温器全开温度时，检查行程是否符合要求。

若节温器失效，则必须进行更换处理。

2）感应器体腐蚀、变形。

故障原因：由于变质冷却液对感应体的腐蚀，感应体上会出现损坏或者变形的现象。

排除故障：拆卸节温器，检查外表有无腐蚀斑迹、变形，视情况进行更换处理。

3）石蜡老化。

故障原因：LNG 载货汽车长期在高温环境下使用，节温器的工作温度较高，造成节温器石蜡出现不同程度的老化。

排除故障：通过检查节温器开启温度和行程，可以判别石蜡是否老化。若开启温度或者行程不符合要求，基本可以判明是石蜡老化的原因，此时，则必须更换节温器。

4）节温器支架、阀门变形和腐蚀。

故障原因：由于长期在高温冷却液浸泡中工作，节温器的支架、阀门等零部件材料会产生失效变形。

排除故障：拆卸节温器检查主阀门、副阀门（旁通阀）失效变形程度，视情况更换节温器。

5）感应器体内橡胶管老化、变形。

故障原因：由于工作温度高，感应器体内的橡胶性能衰退，橡胶管老化、变形。

排除故障：拆卸节温器检查主阀门、副阀门（旁通阀）失效变形程度，视情况更换节温器。

6）推杆变形、弯曲。

故障原因：由于长期在高温下工作，工作环境恶劣，节温器开关次数过于频繁且承受冷却液高温、低温交变冲击负荷影响，推杆会出现变形、弯曲。

排除故障：拆卸节温器，检查主阀门、副阀门失效变形程度，视情况进行节温器。

六、LNG 载货汽车散热性能配置要求

由于 LNG 载货汽车燃烧介质是气态气体，而气态气体由 LNG 汽化而成，LNG 发动机在燃烧过程中的燃烧温度高于柴油机。表 9-4 是 JNP4250N LNG 载货汽车与 JNP4250 柴油载货汽车，在载货 55t、行驶路况相同情况下的排气温度变化情况。从表中可看出，在标准载货 55t 情况下，JNP4250N LNG 载货汽车比 JNP4250 柴油载货汽车排气温度高出 167℃。因此，对 LNG 载货汽车散热性能的配置，必须高于柴油载货汽车。

1. LNG 载货汽车排气温度

表 9-4　排气温度比较

序号	测量时间/s	环境温度/℃	排气温度/℃		排气温度差/℃
			JNP4250N LNG 载货汽车	JNP4250 柴油载货汽车	
1	1103	33	604. 43	436. 97	167. 46
2	1104		604. 13	436. 81	167. 32
3	1105		604. 19	436. 81	167. 38
4	1106		604. 69	437. 07	167. 62
5	1107		604. 28	436. 91	167. 37
6	1108		604. 43	437. 04	167. 39
7	1109		604. 852	437. 10	167. 75
8	1111		603. 94	436. 79	168. 15

注：1. 测试载货总质量为 55t。
2. 测试路况为二级柏油路面。
3. 测试时间为 1103～1111s。



2. 冷却系统配置要求

设计 LNG 载货汽车冷却系统时，其散热性能要优于同类型柴油载货汽车，散热器、中冷器的散热面积应当有所加大，如图 9-57、图 9-58 所示。汽车前挡风面罩应适当敞开，以增加汽车的迎风面，如图 9-59 所示。

汽车行驶中，部分迎面风被驾驶室阻挡回流后再进入散热器进行冷却，这部分回流风经驾驶室发动机舱后，吸收发动机舱的热量形成热风，再进入散热器时对散热影响很大。为了消除汽车行驶中产生的这部分回流热风，在驾驶室与散热器、中冷器之间加装挡风胶板，如图 9-84 所示。试验证明，在相同的条件下，加装挡风胶板比不装冷却液温度可以下降 2.02℃，见表 9-5、表 9-6。

表 9-5　未装挡风胶板

序号	发动机转速 /(r/min)	负荷(%)	中冷后温度 /℃	中冷前温度 /℃	进冷却液温度 /℃	出冷却液温度 /℃	排气温度 /℃	环境温度 /℃
1	1312	93	46.76	130.50	77.90	83.44	520.31	28.03
2	1285	93	46.76	130.50	77.90	83.44	520.31	28.03
3	1280	93	46.76	130.50	77.90	83.44	520.31	28.03
4	1279	93	46.76	130.50	77.90	83.44	520.31	28.03
5	1260	92	46.72	130.02	77.93	83.54	521.89	28.34
6	1285	93	46.72	130.02	77.93	83.54	521.89	28.34
7	1249	92	46.72	130.02	77.93	83.54	521.89	28.34
8	1297	93	46.72	130.02	77.93	83.54	521.89	28.34
9	1257	92	46.72	130.02	77.93	83.54	521.89	28.34
10	1308	93	46.72	130.02	77.93	83.54	521.89	28.34
平均值	1281	92.7	46.73	130.21	77.92	83.50	521.25	28.15

表 9-6　装挡风胶板

序号	发动机转速 /(r/min)	负荷(%)	中冷后温度 /℃	中冷前温度 /℃	进冷却液温度 /℃	出冷却液温度 /℃	排气温度 /℃	环境温度 /℃
1	1290	93	55.44	129.5	83.5	91.65	547.02	28.14
2	1290	93	55.44	129.5	83.5	91.65	547.02	28.14
3	1290	93	55.44	129.5	83.5	91.65	547.02	28.14
4	1290	93	55.44	129.5	83.5	91.65	547.02	28.14
5	1290	93	55.44	129.5	83.5	91.65	547.02	28.14
6	1290	93	55.44	129.5	84.5	91.65	547.02	28.14
7	1303	93	55.33	129.4	84.8	91.66	547.72	28.17
8	1303	93	55.33	129.4	84.8	91.66	547.72	28.17
9	1303	93	55.33	129.4	84.8	91.66	547.72	28.17
10	1303	93	55.33	129.4	84.8	91.66	547.72	28.17
平均值	1295	93	55.40	129.5	84.6	91.65	547.3	28.15

对比表 9-5 与表 9-6，从中可看出：

未装挡风胶板发动机进冷却液温度差：84.0 − 77.92 = 6.08℃。

装挡风胶板发动机出冷却液温度差：91.65 − 83.50 = 8.10℃。

在环境温度相同情况下，比较装挡风胶板与未装挡风胶板冷却效率提高：8.10 − 6.08 = 2.02℃。



在 LNG 载货汽车冷却系统匹配时，由于冷却液温度高，高温水蒸气产生的压力也会相应有所增大，因此，冷却系统橡胶水管的工作压力、工作温度也要求优于同类型柴油机，这样才能在冷却液温度、压力较高时不会爆破，保证发动机的正常工作。

汽车输水胶管常用三元乙丙橡胶制造，内层夹有纤维增强布，能有效提高橡胶管的承压强度，如图 9-85 所示。不同的橡胶材料、纤维增强层材料，其承受的爆破压力是不相同的：汽车输水胶管的爆破压力应当能满足 3 ~4 倍汽车工作压力要求，汽车夹布输水胶管的工作温度，应能在 –40 ~120℃温度范围内保证汽车正常工作要求。

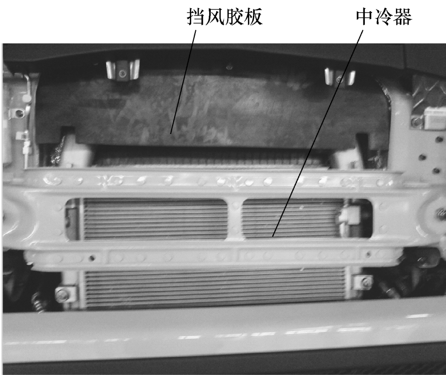


图 9-84　汽车前挡风胶板



图 9-85　内夹纤维增强层橡胶管

表 9-7 是汽车输水胶管不同的直径与所承受的爆破压力的对应关系。表中将输水胶管分成 3 类，载货汽车常采用 2 类输水胶管。从表 9-7 中可看出，汽车输水胶管直径越大，其爆破压力就越小，这是由于汽车输水胶管直径越大，所流通的压力就越小。

表 9-7　汽车输水胶管爆破压力

序号	1 类		2 类		3 类	
	内径/mm	爆破压力/MPa	内径/mm	爆破压力/MPa	内径/mm	爆破压力/MPa
1	5.5 ~39	>0.2	5.5 ~9	>1.2	5.5 ~16	>1.7
2			12 ~16	>1.1	19 ~20	>1.4
3			19 ~25	>1.0	21 ~25	>1.2
4			27 ~31	>0.9		
5			33 ~39	>0.8		
6			44 ~49	>0.7		
7			54 ~64	>0.6		
8			69 ~74	>0.5		

LNG 汽车维修时：应对汽车冷却系统相关零部件进行检查，重点对汽车冷却系统散热器芯管堵塞、橡胶水管老化等情况进行检查、判别，必要时进行清洗散热器、更换橡胶水管。

第十节　LNG 载货汽车出现异响故障的判别处理

汽车异响是常见故障之一。异响声主要来自发动机运动时零部件相互的机械撞击声

（如气门与摇臂、推杆与挺柱体、挺柱体与凸轮轴以及正时齿轮系的齿轮相互啮合传动等形成撞击机械响声）、传动带摩擦声以及发动机燃烧过程中爆燃和漏气产生的响声，响声主要表现在如下几方面。

（1）故障表现形式

1）发动机运转中，在发动机内部发出清脆的金属敲击响声，而且随着发动机转速升高、汽车行驶速度的加快，响声的频率也会随之增大。这种响声属于摇臂与推杆头部撞击响声。

2）发动机运转中，在发动机气缸盖内出现“咔咔”响声，在汽车上坡或者重载加油时明显。这种响声属于气门间隙产生的撞击响声。

3）发动机运转中，在发动机气缸盖内出现“嗒嗒”响声，且有规律、有节奏地发生，随着发动机转速升高、汽车行驶速度的加快，响声的频率也随之增大。这种响声属于气门与摇臂、气门座撞击（图 9-86），挺柱体与凸轮、推杆撞击（图 9-87）。

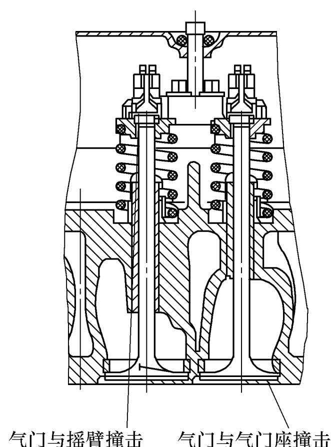


图 9-86　气门与摇臂、气门座撞击

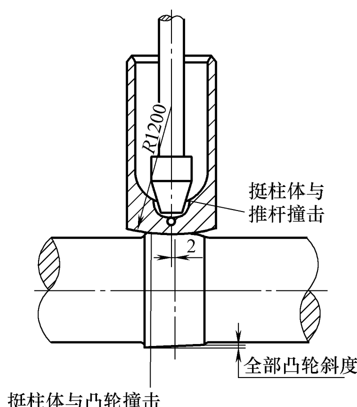


图 9-87　挺柱体与凸轮、推杆撞击

4）发动机运转中，在发动机气缸体内出现“吶吶”金属敲击响声，声响坚实有力，且随着响声气缸盖会有一些振动。这种响声属于活塞碰撞气缸盖产生的响声。

5）发动机运转中，在发动机前端出现“嚓嚓”的响声。这种响声属于传动带摩擦产生的响声。

（2）故障分析判断

1）配合间隙超差。

① 零、部件加工精度超差、自然磨损或者非自然磨损，零部件变形弯曲，造成活塞与气缸套，曲轴与曲轴瓦、连杆瓦，气门头部与摇臂以及挺柱体与推杆等配合零、部件间隙增大，相互撞击产生金属响声。

② 润滑不良或者空气滤清器滤芯损坏，造成气缸套与活塞环、曲轴与曲轴瓦、曲轴与连杆瓦以及气门导管与气门杆等零部件异常磨损，零、部件配合间隙增大，相互撞击产生金属响声。

③ 气门调节螺栓锁紧螺母松动，间隙变大，气门调节螺栓与气门头部、挺柱与推杆相互撞击产生金属响声。

④ 气门与气门座圈工作密封面严重磨损、烧蚀，产生斑点、凹陷、积炭，气门弹簧折断或者变形失去弹性，均会产生气门与气门座圈的冲击碰撞声。

⑤ 水泵传动带、发电机传动带、空气压缩机传动带和张紧轮传动带磨损也会与带轮产生较大的摩擦、冲击响声。

2）运动、连接零、部件松旷。

① 连杆螺栓和螺母、飞轮螺栓和螺母、主轴承盖螺栓松退后，都会造成曲轴和轴瓦、飞轮与曲轴相互撞击产生响声。

② 气门调节螺栓锁紧螺母松退，使气门调节螺栓产生“嗒嗒”的响声。

③ 推杆弯曲，会造成挺柱体与推杆相互撞击，产生金属碰撞响声。

④ 曲轴轴向推力轴承松脱，造成曲轴轴向窜动增大，使曲轴与主轴承座相互碰撞，产生金属碰撞响声。曲轴止推片如图 9-88 所示。

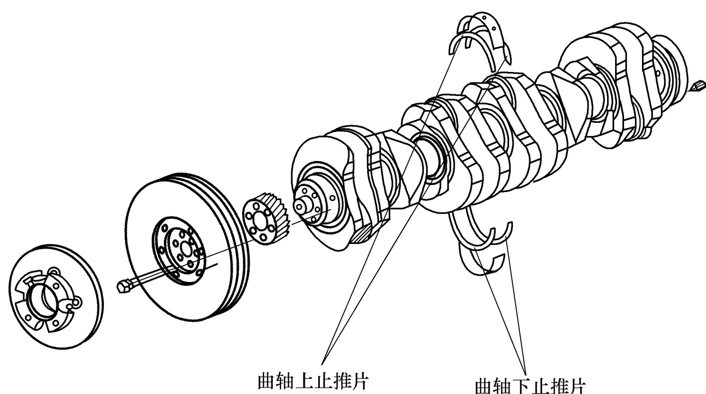


图 9-88　曲轴止推片

3）过盈配合零、部件松旷。

① 气门座圈是采用液氮经低温冷缩后，镶入气缸盖气门座内的。当温度恢复常温后，其产生膨胀而形成过盈配合，紧固在气缸盖气门座孔内。工作一定时间后，由于长期经受高温冲击负荷，气门座圈会出现不同程度的松旷现象，气门座圈与气缸盖过盈配合失效，变成间隙配合，造成气门头部及气门座圈，或者气门座圈与气缸盖产生相互碰撞，因而产生金属碰撞响声。

② 活塞销是经加热至 70～80℃后用手轻轻推入活塞销孔内装配的，如图 9-89 所示。由于活塞长期承受高温冲击负荷，在工作一段时间后，活塞销与活塞过盈配合会出现不同程度的松旷，配合失效，过盈配合变成间隙配合。当活塞销在活塞内松旷后，活塞与活塞销会产生金属碰撞响声。

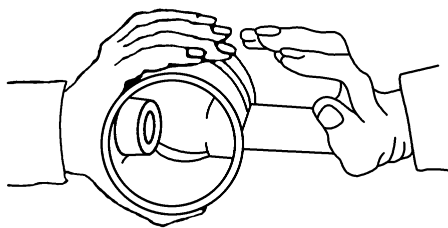


图 9-89　活塞销装配

③ 连杆小头衬套，是由薄壁双金属卷制而成后将连杆小头衬套挤压入连杆小头孔加工而成的。由于连杆小头衬套承受冲击负荷，在工作一段时间后，会出现不同程度的松旷现象，间隙增大，活塞销与连杆小头衬套会产生金属碰撞响声。

4）发动机出现爆燃，汽车振动加大，发动机动力不足，在急加速或者重载上坡时尤其明显。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）配合间隙超差。

① 气缸套与活塞间隙大。

故障原因：活塞裙部摆动，使活塞裙部与气缸套碰撞，产生“哝哝”金属响声。

排除故障：严格按设计要求保证气缸套与活塞的加工尺寸要求，按规定对气缸套孔、活塞裙部尺寸配合间隙进行分组匹配。

② 活塞环侧隙间隙大。

故障原因：活塞环侧隙间隙大，活塞环在活塞环槽内扭曲，与气缸套壁摩擦，划伤气缸壁发出“吱吱”或者“呵呵”响声。

排除故障：装配时按活塞环与活塞配合间隙要求，配置活塞环侧隙间隙。维修时，视情况对超差间隙的活塞、活塞环进行更换。

③ 气门杆与气门导管之间间隙大。

故障原因：气门杆晃动或者气门杆弯曲，导致气门关闭不严，产生漏气，发出“唏唏”声响。

排除故障：检查气门与气门导管的尺寸要求，保证配合间隙。维修时，将超差的气门、气门导管进行更换。

④ 挺柱体与挺柱体孔间隙大。

故障原因：挺柱体在挺柱体孔内晃动、卡滞，推杆顶住挺柱体往复运动产生冲击，由于气门调节间隙作用，在运行中会产生“哝哝”冲击声。

排除故障：检查挺柱体与挺柱体孔的尺寸要求，保证装配配合间隙。维修时，将超差的挺柱体进行更换，对超差的挺柱体孔进行镶套修复或者更换挺柱体孔零件（气缸体）。

2）加工间隙超差。

① 气缸套孔圆柱度及气缸套孔直径加工尺寸超差、活塞裙部椭圆形状及最大椭圆尺寸超差。

故障原因：活塞在气缸孔内摆动、撞击，产生“哝哝”敲缸响声，此响声随着汽车负荷加大而加大。

排除故障：测量检查气缸套孔圆柱度及气缸套孔直径尺寸，测量检查活塞裙部最大椭圆尺寸，并根据分组配合尺寸重新进行分组，视情况进行更换。

注意：更换时必须将气缸套、活塞、活塞环一起进行配套更换，以保证分组配合尺寸、配合间隙符合设计装配要求。

② 曲轴轴颈直径尺寸、曲轴瓦孔径尺寸超差。

故障原因：由于曲轴轴颈直径尺寸、曲轴瓦孔径尺寸超差，使曲轴轴颈与曲轴轴瓦孔径配合间隙增大，在曲轴旋转中会产生“叮当”响声，此响声随着发动机转速增高而加大。

排除故障：测量检查曲轴轴颈尺寸、检查曲轴轴颈磨损情况，视情况磨削曲轴轴颈，配加厚轴瓦修复。

③ 连杆小头衬套孔直径、活塞销外径加工尺寸超差。

故障原因：由于连杆小头衬套孔直径、活塞销外径加工尺寸超差，使活塞销与连杆小头衬套孔间隙增大，产生冲击的“嗒嗒”响声，此响声随着发动机转速增高而加大。

排除故障：检查连杆小头衬套孔、活塞销外径尺寸，检查连杆小头衬套有无松脱现象，视情况进行更换。

④ 活塞环与活塞、气门杆与气门导管、挺柱体与挺柱体孔等配合零件加工尺寸超差。

故障原因：活塞环与活塞、气门杆与气门导管、挺柱体与挺柱体孔等配合零件加工尺寸超差，配合间隙增大，产生金属撞击响声。此响声随着发动机转速增高而更大。

排除故障：检查活塞环与活塞、气门杆与气门导管、挺柱体与挺柱体孔等配合运动副的尺寸，保证其配合间隙，视情况更换损坏失效的零、部件。

⑤ 曲轴轴向止推面或者止推片加工尺寸超差。

故障原因：曲轴轴向止推面或者止推片加工尺寸超差，曲轴旋转时会产生轴向窜动，产生“咚咚”金属碰撞响声。此响声无规律性，时大时小，有时响声变成尖叫声。

排除故障：检查曲轴轴向止推面是否磨损，视情况更换曲轴止推片。

3）装配间隙、运动重量平衡超差。

① 气缸套与活塞配合间隙。

故障原因：由于活塞在运动中与气缸套会产生磨损，磨损后气缸套与活塞配合尺寸偏大，配合间隙增大，在活塞上下往复运动中活塞与缸套产生撞击声。

为了保证气缸套与活塞的间隙，满足其往返运动的需要，气缸孔与活塞裙部最大尺寸应进行精确分组，装配时必须按其分组尺寸进行配对，否则活塞与气缸套会因其尺寸超差，间隙增大而产生撞击响声。

排除故障：测量检查气缸套孔磨损情况、检查活塞磨损情况，视情况更换气缸套（镶气缸套、镗气缸套孔）、活塞，在更换时必须按分组尺寸配对。

② 活塞、连杆重量分组。

故障原因：活塞、连杆重量分组组别不对，各个气缸的活塞、连杆重量相差较大，活塞、连杆在运行中因运动不平衡而产生惯性力，撞击相应零件产生金属响声。

为减少发动机运行中产生的惯性冲击力，活塞、连杆重量应分别进行分组，装配时必须按其重量分组配对，否则，多缸发动机会因活塞、连杆重量不平衡产生较大的冲击振动，加大活塞撞击气缸套、气门的响声。

排除故障：检查活塞、连杆重量分组标记记号，按规定调整重量分组。

③ 气门与气门座圈的密封性。

故障原因：发动机烧机油时会产生胶状物，粘滞在气门及气门座圈上后，造成气门密封不严而发出漏气响声。

为保证气门与气门座圈的密封性，气门与气门座圈经配对研磨而成，装配时不得互换，维修时必须做好相应记号，配对装配，否则，会因气门密封不严漏气，而产生响声。

排除故障：用煤油检查气门的密封性能，如果发现漏气，必须更换气门座圈和气门。检查时，必须做好记号标记，切不可混淆。

④ 解体发动机时，挺柱体与凸轮运动副配合混淆装错。

故障原因：在汽车大修时，挺柱体与凸轮轴的凸轮未能按记号复原装配。

为减少挺柱体与凸轮轴的凸轮在运动中产生的相互撞击声，挺柱体与凸轮轴上所对应凸轮必须配对装配，在维修时必须做好相应记号，配对装配，否则，会因挺柱体与凸轮配合不好而加大挺柱体对凸轮的冲击，产生撞击响声。

排除故障：检查挺柱体与凸轮轴上凸轮的磨损情况，视情况更换挺柱体、修复凸轮或者更换凸轮轴。在检查时必须做好挺柱体与凸轮轴上凸轮相应的配合记号，切不可混淆。

4）异常磨损导致间隙超差。

故障原因：在汽车行驶中，因空气滤清器滤芯破损，灰尘、杂质进入发动机气缸，造成气缸套早期磨损，在气缸套孔内，活塞环运动与非运动行程之处形成台肩，气缸孔增大、变形。一旦气缸套早期磨损，会造成活塞撞击气缸套，产生撞击响声。

排除故障：拆卸空气滤清器，检查空气滤清器滤芯是否破损，视情况更换滤芯。

起动发动机，怠速运行，检查发动机曲轴箱窜气情况，当气缸套磨损后，会从曲轴箱窜出气体。也可拆卸气缸盖，进一步检查气缸套磨损情况。拆卸气缸盖后，旋转曲轴将活塞运行至下止点附近，测量气缸套孔直径尺寸，若气缸套孔尺寸超出配缸分组尺寸要求，则需更换气缸套。

5）润滑不良异常磨损导致间隙超差。

故障原因：机油变质，或者机油有灰尘、杂质，使气缸套与活塞、气门杆与气门导管、挺柱体与挺柱体孔等配合运动副零部件间隙增大，发动机运行时各零部件产生相互撞击响声。

排除故障：检查机油是否变质，检查机油粘度是否变大，检查机油滤清器损坏失效情况，视检查情况更换机油滤清器或者更换机油。

6）发动机出现爆燃。

故障原因：LNG 燃烧气体过量，由于混合气变浓，发动机燃烧不充分，部分 LNG 气体未完全燃烧，在燃烧中发出“放炮”响声。

故障排出：采用仪器测量诊断法、局部拆卸法、替换法检查氧传感器、大气环境传感器、节气门后进气压力温度传感器和天然气温度传感器等传感器是否失效，并视检查情况更换相关传感器。

7）传动带松旷。

故障原因：LNG 载货汽车运行中，曲轴传动带、发电机传动带、空气压缩机传动带和惰轮轴传动带会随着工作时间的增长、工作温度影响，传动带挠度发生变化，由此而产生“嚓嚓”的摩擦响声。

排除故障：按规定保养周期调整传动带松紧度、传动带挠度，使传动带松紧度、挠度适当，避免传动带过松后，传动带与带轮发生摩擦产生响声。

第十一节　LNG 载货汽车早期磨损故障的判别处理

LNG 载货汽车出现早期磨损，主要包括鼓式制动摩擦片、轮胎、发动机运动摩擦副，而发动机运动摩擦副的早期磨损，则主要是指发动机的高速旋转、高速运动传动副，如发动机气缸套与活塞和活塞环、挺柱体与凸轮、曲轴与轴瓦等相关摩擦运动副零件在工作很短时间内出现磨损。摩擦运动副零件出现早期磨损，除与相关零、部件的性能有关外，还与汽车的正常使用、保养有很大的关系。分析、了解 LNG 载货汽车早期磨损故障发生的原因，对预防出现早期磨损，保证 LNG 载货汽车正常运行有极大的帮助。

一、发动机早期磨损

早期磨损分为底盘早期磨损和发动机早期磨损，这里只介绍与 LNG 发动机相关的早期磨损，即发动机早期磨损。

（1）故障表现形式

1）汽车运载能力降低：LNG 载货汽车行驶中载重能力降低，发动机动力性下降。

2）机油耗增大：更换机油周期缩短，且消耗量增大。

3）曲轴箱“窜气”：从曲轴箱排出气体增加，该气体呈蓝色，略带刺激鼻孔的异味，将过滤纸或白纸放在曲轴箱出气口附近，几分钟以后，白纸上有明显的机油油气或油滴出现。

4）金属敲击声：发动机运行中能听见有金属碰撞、敲击声。

（2）故障分析判断

1）发动机动力下降：气缸套孔径增大、气缸套内孔圆柱度超差、气缸密封失效、气缸燃烧压力降低和发动机燃烧不充分。

2）机油变质：部分高压燃气从气缸套与活塞和活塞环配合间隙处窜入曲轴箱，由于高温燃气中的 CO、CH_4、NO_x 对机油的影响，机油产生结胶、变质，部分机油被高温转化成气体，进入燃烧室燃烧。

3）曲轴箱“窜气”：由于部分高压燃气窜入曲轴箱后，如图 9-90 所示，曲轴箱的压力高于大气压力，因此曲轴箱的气体会排出曲轴箱，这种气体排出称为“窜气”。

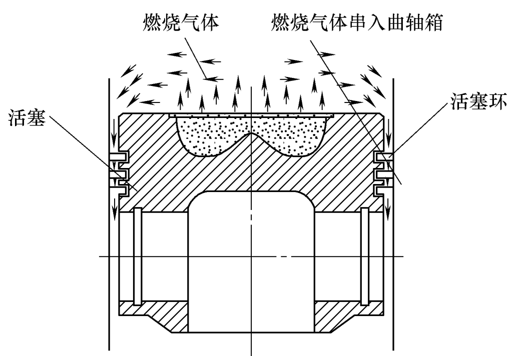


图 9-90　燃烧气体窜入曲轴箱

4）金属敲击声：由于气缸套磨损，会产生活塞与气缸套的撞击响声。

（3）产生故障原因及检查排除故障

故障原因：

1）气缸套材质未达到设计要求、气缸套热处理硬度未达到设计要求。

2）气缸套孔加工精度差：气缸套孔径尺寸、圆柱度尺寸超差。

3）气缸套网纹偏差：气缸套网纹加工深度不够，或者网纹形状偏差较大。

4）空气滤清器滤芯失效：空气滤清器滤芯损坏后，灰尘、杂质进入气缸孔，极易损坏气缸孔，使气缸孔增大，或者变形成不规则的椭圆。

故障排除：

1）测量气缸套孔径尺寸、圆柱度偏差是否达到设计要求。测量上、中、下三处，分 X 方向和 Y 方向测点，如图 9-91 所示。若尺寸超出设计要求时，则需更换气缸套、活塞、活塞环，以保证气缸套孔与活塞配合良好，保证气缸的密封性。

2）检查气缸套材料、热处理硬度是否符合产品设计要求。若偏差较大时，则必须更换合格的气缸套，同时更换活塞、活塞环。并对气缸套、活塞进行尺寸和重量分组，以保证气缸套孔与活塞配合良好、运行平稳，保证气缸的密封性。

3）气缸套网纹深度、网纹形状必须符合设计要求，使机油能充分粘附在气缸孔内壁上，以保证气缸套与活塞、活塞环润滑良好。

4）检查活塞环与活塞配合间隙（侧隙），如图 9-92 所示。

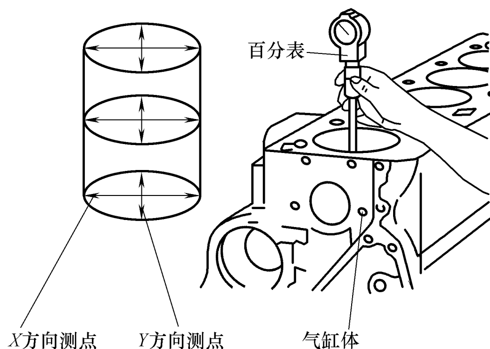


图 9-91　测量气缸孔

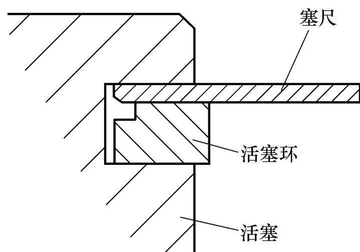


图 9-92　活塞环侧隙检查

二、发动机冷却液温度低

LNG 发动机长期在低温状态下工作，由于发动机机油粘度大、气缸套润滑不良，气缸套与活塞、活塞环的摩擦力相应增大，就会出现气缸套与活塞、活塞环早期磨损现象。

故障原因：

1）节温器失效或者未装节温器。发动机的节温器失效，有的甚至拆除不装节温器，造成冷却系统工作不正常，使发动机长时间在低温或者高温下工作。无论发动机长期在低温还是高温下工作，都会导致气缸磨损加剧，气缸孔增大、变形。

2）散热器芯堵塞。由于未按要求采用防冻液，或者未按规定定期更换防冻液，冷却液中的泥沙、杂质、水垢堵塞散热器芯管，冷却液流量减小，散热能力不足。出现此情况后，会因为发动机长期在较低温度下工作，导致气缸磨损加剧，这种现象在 LNG 载货汽车运行中经常出现。

3）冷却水管堵塞。在汽车维修中，由于棉纱、废纸屑不慎掉入水管中，会造成冷却水管堵塞，冷却液流量减小，散热能力不足。出现此情况后，会因为发动机长期在较低温度下工作，导致气缸磨损加剧，这种现象在 LNG 载货汽车运行中不经常出现。

4）机油粘度大。由于冷却液温度低，机油粘度增大，流动性差，很难进入各零部件摩擦表面之间，难以形成润滑油膜，造成润滑不良。尤其是在起动时，由于机油泵不能及时地将机油输入各摩擦表面之间，摩擦表面极易形成干摩擦，磨损严重，造成润滑不良。

故障排除：

1）保证节温器正常状态。节温器能自动控制、调节冷却液温度，在汽车行驶中，要随时根据冷却液温度的变化情况，检查、判断节温器失效与否。若冷却液温度不正常，首先应检查节温器是否失效，检查方法参照第三章第七节中“检查节温器的开启行程”。

2）拆除节温器。在 LNG 载货汽车行驶中，出现冷却液温度高现象，究其原因属于燃烧不好、点火系统出现故障或者散热器堵塞等原因所致。出现此故障，应当查明故障原因所在，对症排除故障，切忌拆除节温器，以避免在寒冷气温条件下，由于汽车始终处于大循环

状况下工作，造成汽车冷却液温度过低。

3）高温燃气窜入曲轴箱。气缸孔磨损增大、变形后，部分高温燃气窜入曲轴箱，增大曲轴箱压力，同时，使曲轴箱的机油老化、变质、结胶。

三、出现早期磨损后的表现特征

1）由于冷却液温度低，LNG 汽化不良、混合气浓度变稀，发动机燃烧时做功较少，汽车运行时感觉到无力。

2）由于气缸磨损，气缸不能较好地密封燃烧室中的气体，造成工作压力降低、发动机动力下降。

3）燃烧室内的高温燃气窜入曲轴箱后，曲轴箱内的压力会高于大气压力，因此，曲轴箱的气体会被排出曲轴箱，从加机油口可看见废气一圈一圈地向外排出，在发动机怠速时尤其明显。

4）由于高温燃气对机油的影响，曲轴箱内的机油在高温下会形成油气，并随着曲轴箱内的气体被排出曲轴箱、进入大气，因此机油耗增大。

5）气缸套活塞、活塞环早期磨损后，燃烧的高温气体窜入曲轴箱，机油极易结胶、变质。

第十二节　LNG 载货汽车机油压力过低故障的判别处理

汽车润滑系统机油压力的正常与否，是汽车正常运行的重要保证，因此，在汽车运行过程中，驾驶人要时刻观察机油压力是否在规定压力范围之内。

机油压力过低是汽车润滑系统的常见故障之一，它将使 LNG 载货汽车润滑效果大大降低，磨损加剧，以至于烧蚀 LNG 发动机零部件。

（1）故障表现形式

1）发动机运转时机油压力始终过低，机油表上显示在“0”位或在较低的危险区域内。

2）发动机起动后，机油压力无法升高。

（2）故障分析判断

1）机油量不足。

2）机油泵进油管网堵塞或机油集滤器堵塞。

3）机油中的杂质卡在机油泵限压阀门上，造成密封不良，或限压阀弹簧失效造成限压阀失灵。

4）曲轴轴瓦与曲轴主轴颈、曲轴连杆轴颈与连杆轴瓦、凸轮轴与凸轮轴衬套、摇臂轴与摇臂以及各种齿轮与齿轮轴等间隙过大。

5）机油管接头漏油或进入空气。

6）机油压力传感器或机油压力表损坏，机油显示不准确。

7）机油滤清器堵塞，旁通阀卡死，使机油不能流入主油道。

8）选用的机油粘度过小或有水分。

（3）产生故障原因及检查排除故障

故障原因：

1）机油油面低于机油标尺刻度线、未按规定牌号选用机油、使用机油粘度不符合要求。LNG 载货汽车由于燃烧温度高于柴油载货汽车，推荐选用天然气 15W—40 牌号机油，而不能采用普通的柴油机机油。

2）机油压力表失效，机油压力表、机油压力传感器失效，机油压力表指针不动，此时显示的机油压力值是假象，不能真实地反映发动机机油压力。

3）检查曲轴轴瓦与曲轴主轴颈、连杆轴颈与连杆轴瓦、凸轮轴与凸轮轴衬套、摇臂轴与摇臂轴衬套内孔以及各种齿轮与齿轮轴衬套等间隙，若这些零部件配合间隙过大，均无法形成机油密封压力腔。

4）机油泵限压阀弹簧变软或密封不良，必要时更换。

5）检查机油集滤器是否堵塞，造成机油流入不畅。

6）机油泵磨损严重，造成机油泵端隙过大，机油压力降低。

7）活塞机油冷却喷嘴松脱，无法形成压力腔，造成机油压力降低。

排除故障：

1）检查机油品质。若机油中混入其他液体，会因变质而引发粘度变小，从而导致机油压力降低。先检查机油中有无水分，如果机油中有水，机油会产生乳化现象而呈乳白色。

一般应按下述方法检查机油中水的来源：

① 检查机油冷却器是否漏水。因为机油的冷却是由冷却液通过热交换方式完成的，热机油在机油冷却器的板翅内流动，冷却液在机油冷却器的板翅外流动，而后冷却液流回散热器，因而水完全有可能在机油冷却器处进入机油通道，导致机油与水混合、机油乳化。

② 检查气缸垫是否破裂。气缸垫不仅起密封缸压的作用，还有保证水和机油在各自不同系统内循环的功能，如果气缸垫破裂或老化，也可在此处造成机油中进入水。

③ 检查气缸体和气缸套有无穴蚀情况。穴蚀的产生往往由于不正确使用冷却液造成，而且长时间才能形成，因而容易被忽视。

④ 检查机油粘度级别与 LNG 发动机的工作环境是否相适应（尤其在低温环境下更应引起注意）。使用不正确粘度级别的机油会造成起动困难，影响机油压力。

按规定要求使用机油，视检查情况更换漏水的机油冷却器或者气缸垫，清洗发动机油道，更换机油。

强调一点：机油中进入冷却液常见于机器长时间停机不工作后，此时机油油面会升高，机油变成乳白色。

2）检查机油冷却器。机油冷却器堵塞往往不易被发现，若机油冷却器部分被堵塞，会造成节流现象，使进入主油道的机油量减少，冷却效果不好，此时会引起系统中的机油温度升高、机油粘度降低，造成机油压力低。

视检查情况更换漏水的机油冷却器，清洗发动机油道，更换规定牌号的机油。

3）检查机油泵、机油集滤器。检查机油泵齿轮及壳体端面有无磨损、机油泵旁通阀是否正常。如果机油泵旁通阀弹簧变软，将造成机油在进入主油道之前泄漏。机油泵是整台发动机润滑的动力源头，机油泵性能的好坏将直接影响机油压力，若机油压力较低时，可视情况采用加装机油泵壳体端面垫片的方法来提高机油压力。

机油集滤器吸油盘呈滤网状，如图 9-93 所示。由于机油中含有杂质，在长期使用中，

机油中的杂质会粘滞在机油集滤器吸油盘上，堵塞吸油盘滤网，造成机油压力低的现象。出现机油压力低时，应当检查机油集滤器吸油盘是否被堵塞，视情况清洗机油集滤器吸油盘。

4）检查活塞冷却喷孔（喷嘴）。一旦机油冷却喷孔（喷嘴）堵塞，活塞将无法得到及时冷却，可造成拉缸。如果冷却喷孔（喷嘴）脱落，活塞同样不能得到冷却，大量主油道的机油将直接泄入油底壳，无法形成密闭的机油压力密封腔，从而造成机油压力降低。

清洗机油冷却喷孔（喷嘴），消除堵塞，如果机油冷却喷孔（喷嘴）脱落，则需重新换装机油冷却喷孔（喷嘴）。

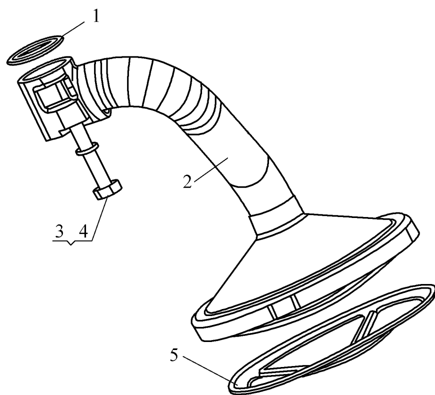


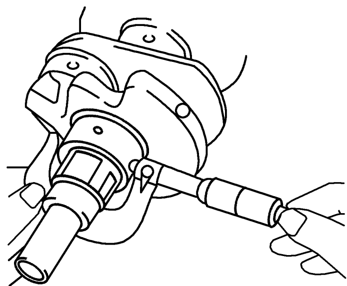
图 9-93　机油集滤器
1—垫片组合件　2—吸油管部件　3—垫圈
4—螺栓　5—滤网总成

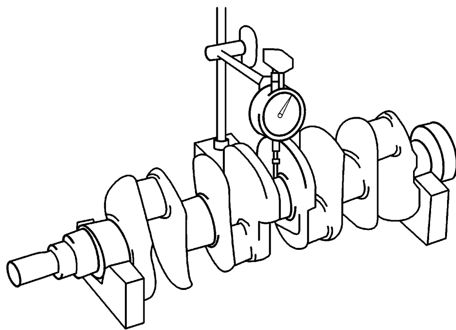
5）检查发动机曲轴轴瓦与曲轴主轴颈、曲轴连杆轴颈与连杆轴瓦、凸轮轴与凸轮轴衬套、摇臂轴与摇臂衬套以及各种齿轮与齿轮轴衬套等零部件间隙，若这些间隙过大，均会造成大量机油泄压，引发主油道油压降低。

视检查情况更换松脱的衬套、轴瓦、喷镀曲轴轴颈（镀层增大曲轴轴颈），保证轴颈的配合间隙。

消除过大的间隙，视检查情况更换各种轴瓦、衬套，喷镀轴颈或者更换曲轴，保证轴瓦配合间隙。

曲轴轴颈尺寸测量如图 9-94 所示，曲轴轴颈跳动测量如图 9-95 所示。


图 9-94　曲轴轴颈尺寸测量


图 9-95　曲轴轴颈跳动测量

6）检查曲轴主轴承和连杆轴承螺栓有无松退现象，若有松退，则需拧紧螺栓至要求力矩值。

7）检查机油压力，若怀疑机油传感器或者机油压力表失效，检查机油压力表是否良好，可拆下机油压力传感器上的导线使之与缸体相碰搭铁。打开点火开关，机油压力表指针

急速上升，则说明压力表完好，若指针不动，则压力表有故障，则应更换。

也可将油道上的传感器拆下，另外接上一压力表，如图 9-96 所示，起动发动机，直观地测量出主油道机油压力，从而判明仪表板上的压力表或者传感器失效与否。



图 9-96　机油压力表

机油没有加足会影响机油压力，但若机油加过量超出机油规定液面后，由于曲轴撞击机油的量增大了，会提高机油的飞溅润湿效果，但同时又会增大曲轴旋转的阻力，消耗发动机的功率，增加燃气消耗率，降低发动机的动力性能。表 9-8 是国内某发动机机油加过量后，发动机主要性能变化情况。

表 9-8　机油加过量后发动机主要性能变化情况

试验项目 / 主要性能指标	设计指标	机油未超量(实测)	机油超 30%(实测)
标定功率/[kW/(r/min)]	103/3000	102.6/2991	88.1/2878
最大转矩[N·m/(r/min)]	≥373/1600-2000	401/1810	351/1631
标定工况燃油消耗率/[kW/(r/min)]	≤252	237	251
外特性最低燃油消耗率/[kW/(r/min)]	≤231	225	243
机油消耗率/(g/kW·h)	≤0.3%	0.25%	0.36%
标定工况排气总管温度/℃	≤650	576	631
烟度/Re	≤4	3.1	4.3

试验表明，机油加多 30% 会产生：

1）发动机动力下降 10% ~15%。

2）燃气（油）耗增大 5% ~10%。

3）机油消耗率增大 44%。

4）标定工况排气总管温度提高 9.9%。

5）排气烟度增大 28%。

为了保证 LNG 发动机正常工作，在行车中，要随时观察机油压力表或机油压力过低警告灯，若发现机油压力为零或者警告灯闪亮，则应立即熄火、停车检查。在汽车行驶和日常维护时，必须正确保养润滑系统，做到：

（1）经常检查

1）利用机油尺，察看机油是否充足、机油是否变质，必要时添加或更换机油。

2）发动机在运转情况下，仔细察看各部位是否有漏油现象。

3）检查机油压力感应塞和机油压力表工作是否正常。

4）按规定周期保养更换机油和机油滤芯，保证机油中无杂质。

5）检查电路，保证线路无松点、断点、露点。

（2）正确使用加速踏板　正确使用加速踏板，合理变换档位，加强在恶劣环境中对 LNG 载货汽车的维护保养。



（3）及时保养　当发动机运行到一定的时间后，应对发动机进行二级保养等例行保养，

这些保养对稳定发动机性能，延长发动机的使用寿命有很大的帮助。

（4）正确选用机油 机油的粘度级别要根据车况、环境温度等具体情况来选用，它对机油压力的影响是很大的。

机油的选用：载货汽车常用机油标号有 5W/30、SAE 15W/40、SAE 20W/50 等。这类标号斜线前半部分表示该标号机油所符合的冬季低温粘度性能，后半部分表示符合的夏季高温粘度性能。W 前的数字越小，表示机油在低温时的流动性越好，汽车起动越容易。而 W 后边的数字越大，则表明该机油在高温环境的粘稠性越好，生成的油膜强度。

第十三节 LNG 载货汽车机油消耗严重故障的判别处理

LNG 载货汽车发动机在冷却、润滑各运动副时，必然要消耗一部分机油，超出机油的正常消耗量俗称为“烧机油”。机油消耗量的多少，常用机油消耗量与燃油（燃气）的比值来衡量，常称“机/燃比”。

GB/T 19055—2003 规定：柴油载货汽车发动机，在全速满负荷试验过程中，机油燃油消耗百分比应小于 0.3%。符合这一标准的发动机和汽车，其机油消耗量就属于正常和合理的水平。目前我国尚无评定 LNG 载货汽车机油量的标准，可参照柴油载货汽车发动机机油燃油消耗百分比评定。

一、机油消耗严重故障表现形式

机油消耗严重常常以机油结胶、老化、变质，漏机油，机油消耗过快，曲轴箱窜出机油等形式表现。

1）发动机外部漏机油，从曲轴箱通风口滴出机油。机油滤清器或者油底壳和气缸体挺杆室盖、外部油管、油底壳密封垫、气门室罩密封圈、齿轮盖垫、挺杆室盖、曲轴前后油封和机油滤清器等处都可能泄漏机油，从而消耗部分机油。

2）发动机冷却液温度高，造成机油温度高，机油结胶、老化、变质快，更换机油频繁，造成机油消耗量增加。

3）由于未采用天然气专用机油，LNG 发动机燃烧工作温度较高，机油在高温下很容易引起氧化和硝化，使机油变质，换机油周期缩短，增大机油消耗。

4）曲轴箱窜出高温机油气，排入大气中消耗部分机油。

5）从曲轴箱顺着活塞、活塞环与气缸壁进入燃烧室燃烧，形成烧机油，机油耗严重。

二、故障分析判断

1）燃烧高温。LNG 发动机燃烧产生的热值要比柴油、汽油大，使燃烧室温度升高。LNG 载货汽车相对同排量、同功率的柴油载货汽车，燃烧温度要高 150℃左右（试验表明 JNP4250N LNG 发动机比 JNP4250 柴油发动机排气温度要高 167℃），在高温下机油易挥发，并随曲轴通风排出。

2）尾气中氮氧化物含量高。虽然 LNG 为清洁燃料，但燃烧室高温导致尾气中氮氧化物含量升高，引发机油硝化，产生过量油泥，缩短机油使用寿命，造成更换机油周期大大

缩短。

3）机油牌号。由于未采用 LNG 发动机专用机油，LNG 发动机燃烧过程中的高温不利于润滑油膜的形成，并促使机油快速氧化，沉积物增多，影响机油的功效和使用寿命，造成更换机油周期大大缩短。

4）LNG 发动机燃烧过程中较高的温度，还对密封性能提出了更高的要求，橡胶密封件易于老化失效，产生机油泄漏。

5）发动机气缸磨损而产生窜气，是机油变质的重要原因。

三、产生故障原因及检查排除故障

无论 LNG 载货汽车或者柴油载货汽车，耗机油都是汽车的一种常见故障。造成机油耗量过高的原因通常由活塞连杆组、配气机构、气缸体等部件的密封配合不良，机油加注过量，渗漏等原因造成，其故障产生原因、检查故障方法为：

（1）机油牌号不适应 LNG 发动机工作温度要求

故障原因：发动机机油由于高温氧化而产生蒸气，部分机油蒸气吸到燃烧室中燃烧，同时曲轴箱的机油蒸气也会通过通风系统排出机外。

排除故障：根据 LNG 载货汽车运行的区域环境温度选用不同牌号的天然气机油。

（2）外部渗漏

故障原因：机油外部渗漏常因油管破裂、密封垫或油封损坏、紧固螺母松动等原因引起。或者因为燃烧高温影响，而使密封橡胶件老化、失效造成漏机油。

可能发生漏机油的部位有发动机外部油管、油底壳密封垫、气缸盖垫、气门室罩密封圈、齿轮盖垫、挺杆室盖、曲轴前后油封和机油滤清器等。外部只要有微量的渗漏，就会导致很高的机油消耗率，故对任何可能的渗漏源均不应忽视。

排除故障：视漏油情况更换相关零、部件，排除漏油现象。

（3）曲轴箱机油过量

故障原因：曲轴箱内油面过高，曲轴曲柄臂及曲轴的连杆端会将过量的机油飞溅到气缸壁上，这些过量机油在发动机工作时进入燃烧室燃烧，使机油消耗量增加。检查油面时，应特别注意利用机油尺刻线来测量油底壳机油储量。

排除故障：按照机油标尺刻线加注机油。

（4）烧机油

故障原因：使用添加剂含量过低的机油，发动机长期在低温运转或因不经常更换机油，机油滤清器保养不当，使机油变脏等，都会将活塞环及环槽的回油孔道堵塞，使缸壁上多余的机油不能返回到曲轴箱，而进入燃烧室烧掉后形成积炭。另外，脏污的机油还会使发动机气缸盖的回油排泄孔堵塞，同时，机油还将溢入气门导管而使机油消耗量增加。

排除故障：保持机油的清洁，定期清洗、更换机油滤清器。

（5）活塞环、气缸套和活塞异常磨损

故障原因：LNG 载货汽车在使用过程中超载，会使 LNG 发动机超负荷运转，此时活塞、活塞环在高于正常温度的情况下工作，造成活塞环在环槽内断裂或卡死，其张力减弱甚至失去张力。进气管密封垫的边缘部分密封不良和空气滤清器失效，也会导致外部异物和灰尘进

入气缸，造成气缸套、活塞、活塞环的早期磨损而导致“烧机油”。

当活塞环和活塞环槽磨损过甚时，活塞在上下运动过程中，活塞环在环槽内出现向活塞顶部泵油的现象。机油就会在进气行程中被送入燃烧室，使气缸、活塞和活塞环上的机油燃烧而形成“烧机油”。

排除故障：检查发动机气缸压力，可判断气缸的密封性。若气缸压力不足，而在向活塞周围加入机油后，缸压有明显升高，即可断定气缸漏气，这可能是气缸和活塞异常磨损引起的。此时应打开缸盖视情况处理。

当活塞、活塞环和气缸套异常磨损后，发动机会出现“烧机油”现象。若活塞环断裂，发动机工作时会有异响，应及时更换。

检查气缸套磨损状况，视情况更换气缸套、活塞、活塞环，保证气缸密封。

（6）活塞环对口或者卡死

故障原因：机油随活塞环开口或者气缸壁流入燃烧室燃烧，形成“烧机油”。

故障处理：检查活塞环是否有对口、卡死现象，视情况更换活塞、活塞环、气缸套。

（7）活塞环断裂

故障原因：活塞环断裂，活塞环油环不能刮油，机油随气缸壁流入燃烧室燃烧，形成“烧机油”。

故障处理：检查活塞环断裂情况，视情况更换活塞、活塞环、气缸套。

（8）气缸变形

故障原因：活塞与气缸套间的配合间隙符合要求，机油可由活塞和活塞环加以控制。但是，如果气缸套有了锥度和圆度，控油就变得很困难了。当活塞与缸套的间隙过大时，活塞就会在气缸内摆动，在摆动倾斜的瞬间，会有部分机油从活塞的一侧进入活塞环。当活塞完成每个行程后返回时，都会有机油进入燃烧室形成“烧机油”。

故障处理：检查气缸套变形情况，视情况更换气缸套、活塞、活塞环，保证气缸密封。

（9）增压器漏油

故障原因：由于机油牌号使用不当，增压器叶轮轴和轴承损坏，增压器的密封性能失效，机油会随着进气窜入到进气管进入气缸燃烧，造成烧“烧机油”现象。

故障处理：拆下增压器出气口，检查增压器橡胶管内壁上有无机油。LNG 载货汽车起动后或者停车前，至少应在怠速下运行 3 ~ 5min，待机油压力提高或者降低后，才可进入高速运行或者停车，以避免增压器因缺油而损坏。

（10）空气压缩机窜油

故障原因：空气压缩机工作原理和发动机类似，如果怀疑空气压缩机窜油，可将发动机起动后拆开空气压缩机出气接管，观察此时是否有机油从空气压缩机出气口窜出。

故障处理：视检查情况修复空气压缩机或者更换空气压缩机。

（11）气门油封损坏或漏装

故障原因：发动机上的气门油封的作用是密封气门与气门导管，防止机油流入发动机燃烧。如气门油封损坏或在保修时漏装，机油会沿气门导管与气门之间的间隙流入燃烧室燃烧，致使机油消耗量直线上升，未燃烧尽的机油进入排气道随高温废气排出。因此，保养时应注意气门油封是否损坏，维修时必须做到正确安装，并检查是否漏装气门油封。

故障处理：视检查情况更换气门油封。

（12）曲轴箱通风挡油板松脱

故障原因：气缸罩盖内装有金属隔板或油气挡板，如果脱落或者丢失，曲轴箱中机油雾气将无法进行油气分离，而直接通过发动机曲轴箱通风胶管排出发动机外，油底壳中的机油将不断蒸发而形成油雾。如此循环，油底壳中的油量将很快减少。

故障处理：视检查情况更换曲轴箱通风机构。

四、LNG 发动机不能选用汽油发动机、柴油发动机机油

1）LNG 发动机在燃烧时产生的高温，会使普通级机油过快氧化，导致机油品质下降或者失效，不利于对发动机的润滑及保护。

2）在高温的作用下，普通机油的高灰分添加剂极易在发动机部件表面生成坚硬沉积物（灰分即硫酸盐灰分，是表示机油中金属类添加剂多少的指标）。

3）普通级机油无法解决由于气体干涩引起的阀门磨损及关闭不严的问题。

4）LNG 载货汽车尾气中含有大量的氮化物，促使普通机油硝化，生成大量油泥，堵塞油路或生成漆膜等有害物质。

由于 LNG 载货汽车具有燃烧温度高、尾气中氮氧化物含量高的特点，因此，LNG 载货汽车必须选用专用机油，而非汽（柴）油车所用的机油。汽（柴）油车用的机油是依照汽油汽车、柴油汽车的发动机工作状况和润滑特点开发生产的，不能适应 LNG 发动机的工作特点，如若使用汽（柴）汽车所用的机油，会给 LNG 发动机带来无法弥补的损伤。

注意：LNG 载货汽车必须选用天然气汽车专用机油。

第十四节　LNG 载货汽车膨胀水箱“翻水”故障的判别处理

LNG 载货汽车运行中，若使用、保养不当，会出现从膨胀水箱加水口处向外泄水，或从溢水管泄出冷却液，称为“翻水”。这种现象会造成 LNG 载货汽车冷却液温度高，严重影响到 LNG 载货汽车的正常运行。

（1）故障表现形式

1）LNG 载货汽车运行中，稍微踩一下加速踏板，然后松开加速踏板，就会出现“翻水”现象，冷却液从膨胀水箱加水口溢出，或者从溢水管溢出。

2）LNG 载货汽车运行中，猛踩加速踏板就会出现“翻水”现象，冷却液从膨胀水箱加水口溢出，或者从溢水管溢出。

3）冷却液温度未超过 100℃，从溢水管处冒出气泡。

4）冷却液温度超过 100℃。

5）散热器“翻水”水流不平稳。

（2）故障分析判断

“翻水”分为热翻、堵塞翻、水气相通翻、冷却液混入石油类产品翻和超量加液翻等几种主要形式。

1）热“翻水”：发动机温度过高，汽车冷却系统内高温蒸汽引起散热器内的水沸腾，大量往外翻水、喷汽，稍不注意会把人烫伤，也就是人们常说的“开锅”。

2）堵塞“翻水”：冷却系统堵塞是发动机常见故障之一，由于冷却系统里的管路堵塞，使冷却液循环不良，从而造成翻水现象。

3）水气相通“翻水”：这种现象多发生在超过大修期的汽车上，故障较难判断和排除。水气相通就是发动机气缸内的高温燃气窜入水道，发动机水道里的冷却液在发动机燃烧高压气体的作用下，形成高温水蒸气。这种高温水蒸气进入整车冷却系统，使经过进水管流入散热器上水室的水量急骤增加，引起散热器“翻水”。

汽车大修或者更换散热器后，都会更换冷却液，在更换冷却液时，如果没有将汽车冷却系统中的空气排除干净，也会造成“翻水”。

4）冷却液里混入石油类产品引起“翻水”：由于机械故障或其他原因使机油混进了冷却液里，使冷却液乳化变质，引起散热性能下降，从而造成“翻水”。

添加冷却液时容器一定要清洗干净，如果误将石油产品混入冷却液中，使冷却液中的添加剂失效，就会产生大量的气泡，影响散热效能，严重时会从散热器盖中溢出。

5）超量加液“翻水”：由于冷却液添加超量，在使用中，由于冷却液热膨胀较大，溢出形成“翻水”。

加注冷却液时，加注量不能超过散热器容积的 90%，在散热器上端留出膨胀空间，否则加得过满，在温度过高时容易溢出。

6）膨胀水箱回水不畅：汽化气水管与膨胀水箱水管相互“抢水”，膨胀水箱中的冷却液不能流回发动机，而是返回膨胀水箱形成倒流，甚至造成膨胀水箱“翻水”。

7）膨胀水箱安装位置低于散热器：散热器压力产生的回水不能顺利流入膨胀水箱，而散热器里的水蒸气则会进入膨胀水箱，从溢水管排出，形成“翻水”。

8）散热器至膨胀水箱连接水管较低或打折：散热器至膨胀水箱连接水管挠度过大且低于散热器，冷却液循环时产生冲击、脉动，瞬时压力增大，也会出现“翻水”。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）过热“翻水”。

故障原因：节温器失效、冷却液循环不良、或者没有按规定要求使用防冻液。

节温器开启行程不够，或者节温器打不开。

有许多驾驶人冬季将防冻液加入，到了春季天气暖和时就将防冻液放掉，加入软水。因水中含有铁、钙、硫化物等，节温器在水的长期浸泡下在其伸缩部件与感应体间生成一层腐蚀的水垢。冬季到来时，将水放掉，又加入防冻液，因防冻液有良好的清洗效果，会将节温器周围的水垢清洗掉，导致节温器伸缩筒与感应体出现间隙，节温器开启失灵，旁通阀时开时闭，使冷却系统无法进行大循环，冷却液温度过高，严重时造成冷却液从散热器口溢出。过热“翻水”这种故障很容易发现。

排除故障：更换节温器，或者按规定要求使用防冻液。

2）堵塞翻水。

故障原因：散热器堵塞或出水管吸瘪。

这种故障与温度无关，堵塞不太严重时，踩下加速踏板时不翻水，松开加速踏板时翻水。散热器完全堵塞时较容易发现，但轻微堵塞时不易发现。长时间不换防冻液，或采用软水有脏物等，都会使散热器芯管堵塞。

排除故障：散热器芯管堵塞以后，冷却液的通过截面会减小，流入散热器的冷却液多于

流出的冷却液，冷却液都积聚在上水室，踩下加速踏板时由于泵压较大，冷却液仅能从没有完全堵塞的散热器芯管中少量通过，松开加速踏板时积聚在上水室的冷却液即从加水口翻出。如果发现散热器加水口“翻水”，可用手摸感觉散热器的温度，一般下水室温度稍低，上水室温度稍高，差别不是很大。如有明显的差别，可判断是散热器堵塞，这时应拆下散热器检查，清除散热器芯管的堵塞物。散热器芯管壁都很薄，捅洗时要特别注意，要用特制的合适的捅条，细心捅洗。防冻液只能清除水垢而不能清除泥污杂质。

除散热器芯管堵塞外，堵塞一般还发生在上水室散热器进口处。同时，汽车散热器的出水橡胶管使用一定时间后，由于强度减弱变软，在踩下加速踏板时，容易把橡胶管吸瘪，增加了冷却液流进水泵的阻力。由于冷却液流不进水泵，而水套内的冷却液都积聚在上水室，松开加速踏板时就会从膨胀水箱加水口翻出。

判断这种故障，可断续踩下加速踏板，如果膨胀水箱加水口断续向外“翻水”，而在发动机低速运转时，恢复常态，即可说明是此种故障。

排除故障：清洗散热器，更换新的上下橡胶水管、采用规定牌号的防冻液。

3）气水窜通“翻水”。所谓气水窜通也就是发动机燃烧室的通道与冷却水道相通，燃烧室的高温燃气窜入冷却水道，随着发动机转速加快，发动机燃烧室的压力升高，冷却水道窜入的气压也就越高。而窜入冷却水道的气体往往都集聚在上水室，气体冲击上水室的冷却液形成“翻水”，直到冷却液液面低于上水室平面为止。这时散热器至少缺水 1/3，甚至更多，进而引起发动机过热。

这种现象在“翻水”开始阶段，一般都与发动机温度无关，是因为冷却液翻出后，冷却液减少，才会使温度升高，而不是温度升高再翻水。判断这种故障，可将散热器加满防冻液，松掉水泵传动带，让发动机高速运转（检查时间不可过长，否则会损坏发动机）。若从散热器加水口涌出一股水后，接着又冒出一股气，冒水和冒气交替出现，冒出气体中带有气缸中的废气味，则可判定是此种故障。

故障原因：由于各种发动机结构不同，造成气水窜通的原因很多，但是出现此原因大体上有以下几方面。

① 因气缸垫烧损（冲气缸床），气缸盖、气缸体接合平面变形，平面度超差（图 9-67），燃烧室内高温、高压气体通过密封不严的缝隙进入水道，引起“翻水”。

② 气缸盖螺栓松动。气缸盖与气缸体螺栓紧固力不足，密封不良，燃烧室内高温、高压气体通过密封不严的缝隙进入水道，引起“翻水”。

③ 湿式气缸套外圆周为冷却液，由于气缸套与气缸体座孔间隙配合不当，若气缸盖因高温而变形，就无法有效地压紧气缸套，则气缸套会上下移动，这时气体可通过气缸套的缝隙窜入水道，引起散热器“翻水”。

④ 湿式气缸套裂纹，气缸内的高温、高压燃气进入水道腔，引起“翻水”。

⑤ 气缸盖燃烧室裂纹，燃烧室内的高温、高压气体窜入水道，而且使散热器“翻水”。情况严重的话，汽车一加速就会从膨胀水箱加水口处喷水。

⑥ 湿式气缸套密封圈失效，气缸内的高温、高压燃气会顺着气缸套外径壁窜入水道腔，引起“翻水”。

⑦ 气缸体螺纹孔（紧固气缸盖）内有残留杂质，气缸盖螺栓紧固不均匀，使气缸盖翘曲变形，燃烧室内的高温、高压气体窜入水道，引起“翻水”。

⑧ 气缸盖螺栓未分三次、对角交叉拧紧，使气缸盖翘曲变形，燃烧室内的高温、高压气体窜入水道，引起“翻水”。

排除故障：根据检查故障的类型，分别予以对症处理，排除窜气现象。

① 检查气缸盖、气缸体平面度。可采取磨削加工气缸盖、气缸体平面，更换气缸垫，按规定力矩分三次对角拧紧气缸盖螺栓的方法。

② 检查气缸盖螺栓松动情况，按规定力矩分三次对角拧紧气缸盖螺栓。

③ 检查湿式气缸套与气缸体座孔配合有无松动现象，视检查情况更换气缸套、镗削气缸体气缸孔。

④ 检查湿式气缸套有无裂纹。可以用小金属棒轻轻敲击气缸套，听金属撞击时发出的响声有无破裂声音，视检查情况更换气缸套。

⑤ 检查湿式气缸套密封圈失效情况，目视密封圈压痕是否均匀，检查密封圈有无破损情况，检查密封圈有无老化变形。湿式气缸套的密封状况如图 3-11 所示，检查后视情况更换气缸套。

⑥ 检查气缸盖燃烧室有无裂纹。气缸盖燃烧室裂纹后，在裂纹处应当有明显的锈痕，或者清晰可见的裂缝。也可采取拆卸气缸盖后进行水压试验的方法来检查判明气缸盖漏水情况，视检查结果更换气缸盖。

⑦ 检查气缸体螺纹孔（紧固气缸盖）内是否留有残留杂质。用目测法检查螺纹孔内有无残留杂质，也可用螺栓旋入螺纹孔，观察螺栓螺纹上有无残留杂质。若有残留杂质，则可用相同规格、相同螺距、相同螺纹精度等级的螺纹丝锥重新清理螺纹孔，并清洗干净螺纹孔内的渣滓。

4）冷却液混入石油类产品“翻水”。

故障原因：

① 更换防冻液时，添加防冻液的容器附有机油、润滑脂，随着防冻液而进入冷却系统。

② 发动机油道破损裂纹而与冷却水道相通，机油混入冷却系统。

排除故障：

① 清洁加防冻液的容器，容器上不得残留机油、润滑脂等石化产品。

② 若冷却液里混杂有机油或者润滑脂时，应及时检查发动机气缸体、气缸盖等零部件，视情况清洗发动机气缸体、气缸盖。

5）超标准储量加液“翻水”。

故障原因：冷却系统里冷却液加过量后，汽车行驶中冷却液温度稍微升高，冷却液就很容易从加水口溢出，也会造成“翻水”。

排除故障：严格按膨胀水箱上规定刻线加注冷却液，加注量不得超出膨胀水箱最高刻线位置。

6）膨胀水箱回水不畅。

故障原因：有的 LNG 发动机汽化器与膨胀水箱回水管，采用三通水管相连并为一根回水管，这根回水管由两根回水支管和一根回水总管组成，如图 9-97 所示。当回水总管的截面积小于汽化器与膨胀水箱两回水支管截面积之和时，也会因膨胀水箱回水不畅，甚至造成膨胀水箱倒回水而“翻水”。

排除故障：检查膨胀水箱回水总管截面积，必须大于汽化器和膨胀水箱回水管截面积之

和，保证膨胀水箱回水畅通。

7）散热器至膨胀水箱连接水管较低或打折。

故障原因：散热器至膨胀水箱连接水管挠度过大，低于散热器，如图 9-98 所示，回水流入膨胀水箱不畅，导致回水阻力较大，冷却系统压力增大，造成“翻水”。

排除故障：可采取增加支撑固定支架方式，固定膨胀水箱回水管、汽化器回水管，避免回水管出现打折、弯曲，使回水通畅，如图 9-99 所示。

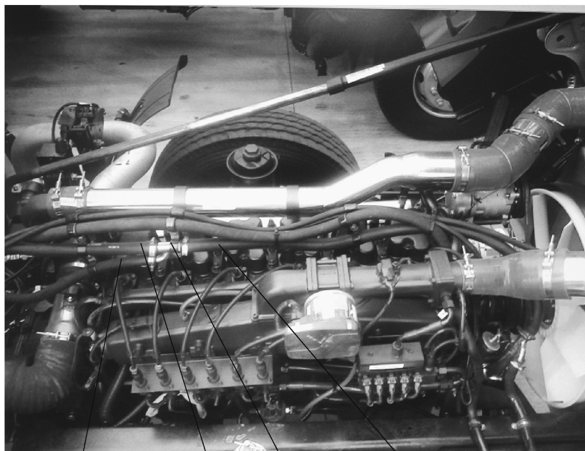


图 9-97　汽化器、膨胀水箱回水管



图 9-98　汽化器、膨胀水箱回水管



图 9-99　支撑支架

第十五节　LNG 载货汽车冒“蓝烟”、“白烟”故障的判别处理

LNG 载货汽车冒烟故障表现形式主要为冒蓝烟、冒白烟。冒蓝烟在 LNG 发动机和柴油发动机上均会出现。出现冒烟故障时，必须根据冒烟特征进行分析，对症处理，才能及时排除故障，保证 LNG 载货汽车的正常行驶。

一、冒“蓝烟”

冒“蓝烟”是 LNG 发动机运行过程中最为常见的故障之一。发动机运行时冒“蓝烟”，基本原因是因为发动机机油参与了燃烧，也就是说发动机工作时冒“蓝烟”的主要原因是“烧机油”。

（1）故障表现形式　汽车运行时从消声器尾管排出烟呈蓝色、且伴随有刺鼻的机油味。随着发动机转速的提高，“蓝烟”浓度会有所增加，刺鼻的机油味也会增大。

（2）故障分析判断

1）气缸套、活塞环磨损严重。机油会从磨损增大的气缸套壁进入发动机燃烧室，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

2）活塞环对口。机油从活塞环开口“对口”处、顺着气缸套壁进入发动机燃烧室，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

3）曲轴箱通风故障。曲轴箱通风堵塞，曲轴箱废气压力升高，使机油通过呼吸器大量进入进气管，并进入燃烧室参与燃烧，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

4）发动机油底壳机油油量过多。机油油面太高，也将导致曲轴箱内废气压力增大，其结果与曲轴箱通风故障一样，将导致大量机油进入燃烧室，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

5）气门和气门导管间隙过大。气门在导管内孔里上下往复运动，形成泵油压力，机油被大量吸入燃烧室燃烧，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

6）气门油封损坏。气门油封损坏后，机油会顺着气门和气门导管的间隙，随着气门上下运动被抽入发动机燃烧室燃烧，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

7）涡轮增压器故障。如果涡轮增压器压气机浮动轴承损坏，可能导致大量机油通过压气机进入发动机进气管，并进入发动机气缸参与燃烧，导致发动机工作时严重冒“蓝烟”。

8）空气滤清器堵塞。检查空气滤清器是否堵塞，进气阻力是否增大，进气是否畅通。气缸内有一定负压，也会将机油吸入燃烧室，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）气缸套、活塞环磨损严重。

故障原因：发动机活塞环与气缸套之间的早期磨损或非正常磨损，气缸孔变形、失圆，都会使气缸内活塞环与气缸套之间的密封状况恶化，机油直接进入发动机燃烧室燃烧。

排除故障：解体拆下气缸盖，转动曲轴将活塞运行至下止点，检查、测量气缸套缸孔尺寸和几何公差，检查气缸套磨损情况，视气缸套磨损情况进行更换气缸套、活塞、活塞环，并按规定配缸分组，保证气缸套与活塞、活塞环的配缸间隙及运行平稳。

2）活塞环对口。

故障原因：活塞环开口“对口”后，无法形成完全密封，机油从活塞环开口“对口”处进入发动机燃烧室，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

排除故障：解体发动机，拆卸活塞环，检查活塞环开口“对口”情况，视情况更换活塞、活塞环，装配活塞环。

① 将活塞环槽彻底清洗干净，并去除活塞环槽、活塞环毛刺。

② 装配活塞环从上至下的顺序：第一道环、第二道环、油环。

a. 在安装时应防止划伤活塞，避免活塞环槽和活塞环受损。

b. 安装时有记号一面朝上，锥形断面活塞环安装时锥面应向上。

c. 活塞环在活塞环槽内，应保证活塞环与活塞环槽上下两面的间隙（侧隙）符合发动机规定要求。活塞环装好后，用手搓几圈活塞环，应能转动灵活，不得有卡滞现象。在活塞环槽内加注适当发动机机油。

d. 顶环与第二道环的位置不能颠倒。

③ 将活塞环开口相距隔开 120°或者 180°，不要重合，且不能对着活塞销孔。

④ 安装组合油环时，应先装轴向衬环，再装扁平环和波形环。波形环上、下各装一片扁平环，各环开口应相互错开。

⑤ 活塞环开口间隙应当符合发动机规定要求。

3）曲轴箱通风故障。

故障原因：曲轴箱通风出气胶管折弯，堵塞曲轴箱废气通道，曲轴箱压力升高，机油在高压力下通过进气管进入燃烧室。

排除故障：更换曲轴箱通风出气胶管，合理安装曲轴通风胶管固定支架，清洗曲轴箱通风呼吸器。

4）机油油量太多。

故障原因：添加机油时，加机油量超出机油标尺刻线高度。

排除故障：加机油至机油标尺刻线后，起动发动机怠速运行几分钟，再检查机油油面，必须保证机油油面在机油标尺上、下刻度线内，不得出现机油过量或者机油不足现象，以保证发动机润滑需求。

5）气门和气门导管间隙过大。

故障原因：气门和气门导管之间形成较高压力，机油被大量吸入发动机燃烧室燃烧，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

排除故障：拆卸气缸盖罩、气门油封，转动曲轴，从气门头部缓缓倒入机油，观察气门与气门导管之间有无吸油、泵油现象。若存在吸油、泵油现象，则可表明是气门和导管间隙过大，此时，就需测量气门杆直径和气门导管内径，检查究竟是气门杆还是气门导管孔直径超过规定要求，视情况进行更换。

6）气门油封损坏、失效。

故障原因：当气门油封损坏或者失效后，气缸盖罩壳里的飞溅机油会顺着气门和气门导管的间隙，并随着气门上下运动被抽入发动机燃烧室燃烧，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

排除故障：拆卸气缸盖罩，检查气门油封有无损坏现象，视情况更换气门油封。检查气

门油封是否装配到位，正确装配要求是，气门油封应当紧紧地贴在气门导管上，气门弹簧应当装在气门油封环槽内。

7）涡轮增压器故障。

故障原因：涡轮增压器压气机浮动轴承长期在高温下工作，在机油变质或者压力较低情况下，会因润滑不良而损坏，以致大量机油通过压气机浮动轴承与轴的间隙进入发动机进气管，并进入发动机燃烧室燃烧，导致发动机工作时出现“烧机油”，排烟呈蓝色。

排除故障：解体涡轮增压器，检查压气机浮动轴承损坏状况，视情况更换涡轮增压器压气机浮动轴承。清洗发动机机油通道，按规定牌号更换机油。

8）空气滤清器堵塞。

故障原因：空气滤清器滤芯质量较差、未按规定周期保养空气滤清器，以致空气滤清器滤芯堵塞、阻力增大，气缸内产生负压，机油被吸入燃烧室，形成“烧机油”，发动机冒“蓝烟”。

排除故障：按规定保养周期、保养方法保养空气滤清器，采用优质空气滤清器滤芯。

二、冒“白烟”

所谓发动机冒“白烟”，是指发动机排气中混杂有水，在高温时水变成水蒸气排出，形成白色的气体。

（1）故障表现形式　在环境温度较低的情况下起动 LNG 发动机，短时间内从消声器排气尾管处冒“白烟”或者有水滴冒出。

（2）故障分析判断

1）LNG 中氢含量较多，所以最终形成水较多，水在低温时不容易汽化，形成“白烟”或者水滴排出。随着 LNG 汽车燃烧温度提高，“白烟”和水滴将逐渐消失，属于正常现象。

2）燃烧室有水。检查气缸垫是否完好或者水套是否有漏水的现象，因为水道中的水通过气缸垫混入燃烧室燃烧也会产生大量白色气体。

3）LNG 载货气瓶排空时，也会从气瓶的排空管口排出“白烟”。

4）发动机气缸套磨损。LNG 发动机刚起动时，工作温度较低，高温燃气窜入曲轴箱，从曲轴箱排出“白烟”，当发动机工作温度升高后，“白烟”就会消失。

（3）产生故障原因及检查排除故障

1）气缸垫烧蚀（“冲气缸垫”）。

故障原因：检查气缸垫是否完好或者水套是否有漏水的现象，因为水道中的水通过气缸垫混入燃烧室燃烧也会产生大量白色气体。

如果排气管始终冒白烟，同时伴随散热器缺水现象，则可能是气缸垫烧蚀或渗漏，发动机冷却液进入燃烧室。对于这种故障，应当尽快送到维修站检修。

排除故障：视情况更换气缸垫或者更换漏水的气缸套。

2）LNG 载货汽车气瓶排空排出“白烟”。

故障原因：这种现象是正常的，是由于 LNG 气瓶排空高密度气体时形成的，这种“白烟”随着气瓶排空压力的降低，气瓶停止排空而消失。

排除故障：分别检查气瓶一级安全阀、二级安全阀开启压力是否与气瓶压力表上显示压力相同，若安全阀开启压力与气瓶压力表上显示压力不一致，则说明安全阀失效，应进行更

换安全阀处理。

3）发动机气缸套裂纹后排出“白烟”。

故障原因：气缸套出现裂纹后，冷却液渗入到发动机燃烧室燃烧，而冒“白烟”。

排除故障：发动机熄火后，停机数小时，检查机油是否变为乳白色状。若机油呈乳白色状，就说明机油里有水，此时应当拆下气缸盖、转动曲轴，将活塞运行至上止点，检查气缸套有无裂纹现象。视情况更换气缸套，在更换气缸套时，应注意与活塞的配缸间隙必须符合发动机配合要求。

第十章

怎样充加 LNG、确定续驶里程及进行经济性评定



LNG 载货汽车充加液化气不同于汽油、柴油汽车加油，由于 LNG 温度非常低，如果 LNG 气瓶内的温度与液化气存在较大的温度差，在充加液化气时气瓶内的液化气会因温度差异产生汽化，由于汽化过程中气瓶的有效容积被气体所占据，使气瓶无法充加满液化气，因此，第一次充加气（初次加气）时，就必须对气瓶进行预冷处理，以降低气瓶内胆温度，减小液化气与气瓶的温度差，保证能有效地充加液化气量。

在 LNG 载货汽车行驶中，由于液化气储量不足或者由于耗气量增大，导致汽车缺气而无法行驶，此时，就必须给缺气的 LNG 载货汽车补加液化气。

本章就如何在不同的环境条件下，补充添加 LNG 进行详细的介绍，对补充加气时应当注意的事项进行说明。

第一节　怎样初次充加 LNG

通常将首次充装、停止工作两周以上以及维修过后的气瓶称为“热瓶”，“热瓶”充加气时必须使气瓶的内胆温度冷却至 LNG 温度范围，否则在充加过程中，LNG 会很快汽化，使气瓶内空间迅速充满汽化后的气体，而造成 LNG 无法充满气瓶，气瓶在短时间内形成较高的压力，致使气瓶不断地排空放气，气瓶无法正常充加、储存 LNG。

供气系统安装完毕后（指管路上各阀门还没有最终连接，或与发动机进气管最终相连前的状态），整个供气系统应当进行吹扫。吹扫应使用干燥、洁净的氮气，将气瓶压力升高至 0.3 ~ 0.5MPa，然后开启气瓶供液阀（注意开启度适当，不要使过流阀全开为宜），吹扫时间不得小于 5min。

一、充加气前检查

1）目视检查气瓶外表有无结霜现象，若出现此现象，说明气瓶已经密封失效，不能再进行充加气了，应当及时将气瓶返厂或者送到服务站维修。

2）目视气瓶管接头有无灰尘、杂质、水分，确保充加气时灰尘、杂质、水分被完全清除干净。如果有灰尘、杂质，在充加液时，杂质可能造成进液单向阀、低温进液口关闭不严，甚至造成密封面的损坏。同时，如果低压燃气滤清器失效，杂质还可能造成发动机损坏。LNG 里的水分会造成管路出现冰堵现象。

3）检查气瓶是否有压力，如果气瓶压力为零，则应对气瓶吹扫并进行气密性试验，确定没有泄漏后再充加 LNG。

4）气密性试验步骤。

① 试验前应当对连接接头进行紧固。

② 试验时压力上升应当缓慢，先将压力升高至 0.05MPa，保压 5min 以上。

③ 对连接部分进行检漏，如果有泄漏应紧固接头。

④ 压力缓慢上升至 0.8MPa，然后按照 0.16MPa 的间隔逐次递增至 1.6MPa，保压 10min，不漏为合格。

二、热瓶预冷（加气）

1）打开低温进出液口（C1）和放空回气接头（C2），目视检查气瓶阀门、管道、接头有没有漏气现象，视情况消除漏气现象。

2）对气瓶充加 LNG30L 左右后，停止充加 LNG。

3）开启气瓶放空（截止）阀（Vv），将气瓶里的压力降至0.3MPa，然后关闭气瓶放空（截止）阀（Vv）。

4）让气瓶保压冷却 10min 左右，此时，气瓶的压力会上升。在气瓶升压的同时，气瓶也得到了充分的冷却。

5）观察气瓶的压力表（P1），如果此时气瓶的压力较高，则应当进行放空降压，在气瓶压力下降至加气机需要的压力以下时，才能进行充加气。

6）待上述流程完毕后，再对气瓶进行充加 LNG，充加气的容量为≤气瓶的额定容积的 90%。

注意：

1）一只完全充加满 LNG 的气瓶，其压力上升十分迅速，可能导致安全阀频繁开启，因此，充加 LNG 严禁超出气瓶额定容积的 90%。

2）气瓶充加 LNG 后，其压力上升十分迅速，可能导致安全阀频繁开启，因此，完全充满的气瓶应尽快使用，禁止长时间储存。

3）向大气放空时，应当将放空的气体引到安全的地方，排空地方不得有烟火、静电，否则将有引起火灾和爆炸的危险。

第二节 怎样常规充加 LNG

常规充加气是指 LNG 载货汽车正常使用的气瓶，在充装时气瓶内胆处于低温状态并有一部分剩余 LNG。

常规充加 LNG 流程：

1）确认加气站或者安装了气瓶的 LNG 载货汽车已经良好地接地。

2）打开低温进液口（C1）和回气接头（C2）的保护帽。

3）目视检查气瓶的阀门、接头、管道，确认没有泄漏和部件没有缺失。

4）用干燥氮气吹扫（或使用干净、干燥的棉纱擦拭）低温进液口（C1）和回气接头

（C2），确保没有水分、杂质。

5）确认加气枪和低温进液口（C1）相配，确保加气枪和低温进液口连接良好。

6）观察气瓶压力表（P1），如果气瓶压力较高，则需要放空才能进行充装，开启气瓶放空（截止）阀（Vv），把压力下降到加气机需要的压力以下，然后关闭气瓶放空（截止）阀（Vv）。

7）开启加气站泵进行充装，直到加气机自动停止。

8）确认气瓶放空（截止）阀（Vv）已经关闭，拆卸加气枪和回气枪。

9）盖上低温进液口（C1）和回气接头（C2）的保护帽。

注意：

1）加气时放空的气体应回到加气站大储槽或者排放到安全地点。

2）在充液前应当检查低温进液口内是否有水分、杂质，确保充液时水分和杂质完全被清除干净。

第三节　LNG 载货汽车怎样在行驶途中应急补充加气

由于充加气必须要将 LNG 载货汽车开到加气站，或者将 LNG 加气槽车开到被加气的汽车处进行加气，这两种加气方法都给 LNG 载货汽车补充加气带来了极大的不方便，一旦在行驶途中气瓶的 LNG 用完，LNG 载货汽车将无法行驶。

LNG 载货汽车行驶时，驾驶人必须随时观察仪表板上气瓶里剩余的 LNG 储量，并随时计算好到加液化气站路程所需要的耗气量，避免出现因缺 LNG，而造成 LNG 载货汽车无法行驶的状况。

LNG 载货汽车缺 LNG 后，可以采取两辆 LNG 载货汽车相互补充加液化气的方法，将一辆车充裕的 LNG 转给另外一辆缺 LNG 的汽车。

一、加气原理

采用相互补充加 LNG 的装置，利用两辆 LNG 载货汽车气瓶的压力差，将储气充裕的载货汽车里的 LNG，输入缺 LNG 的载货汽车，从而解决 LNG 载货汽车行驶途中补充加气的问题。

补充加气时，利用供气系统增压装置，将储气量充裕的气瓶（出液气瓶）压力增压至 0.8～1.59MPa（增压压力尽可能高一些），打开缺 LNG 的 LNG 载货汽车供气系统放空阀，将气瓶的压力降至最低。压力降得越低，气瓶压力差就越大，就越容易输入 LNG。LNG 载货汽车补充加气装置如图 10-1 所示。

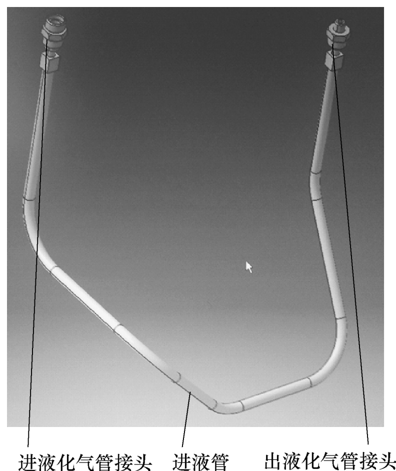


图 10-1　补充加气装置

二、LNG 载货汽车缺 LNG 表现形式

气瓶里的 LNG 用完，LNG 载货汽车就无法正常行驶。

1）汽车停止运行：LNG 载货汽车行驶中自动熄

火，无法行驶。

2）汽车缺气：汽车行驶中，液位显示器显示 LNG 用完或者即将用完。

3）供气系统漏气：当气瓶里的 LNG 只剩下不足以行驶到加液化气站的量时，导致 LNG 载货汽车无法运行。

4）液位显示器失效：因液位显示器失效，无法了解 LNG 载货汽车行驶中 LNG 的储量，不能正确计算续驶里程，造成 LNG 载货汽车行驶中缺 LNG。

5）根据耗气量计算续驶里程有误，汽车因缺 LNG 无法行驶运行，汽车自动熄火。

6）供气系统漏气：因气瓶泄漏，使气瓶里的 LNG 储量减少，缩短了行驶里程，汽车因缺 LNG 无法行驶运行。

三、LNG 载货汽车缺 LNG 原因

1）液位显示器计量准确性。在充加气时，可以利用加气站补加的液化气量，来核对液位显示器的准确性，从而判明气瓶里的储气量。

2）重新确定气耗量。随着 LNG 载货汽车性能的衰退，LNG 载货汽车续驶里程也会发生改变。在汽车行驶运行中，应当随时根据 LNG 载货汽车性能的变化状况，重新计算百公里耗气量，根据运载需要行驶的里程，核定气瓶的储气量能否满足行驶的需要，以保证气瓶 LNG 储量能满足 LNG 载货汽车正常行驶里程要求。

3）仔细检查供气系统，排除漏气。利用漏气传感器或者肥皂水对供气系统阀门、管接头、管路进行检查，采用紧固管接头、缠绕生料带，更换阀门和管接头方式，消除漏气现象。

四、LNG 载货汽车补充 LNG（补充加气）

若气瓶里 LNG 用完了，而又无法将汽车行驶到加液化气站加气时，可采取用另外一辆 LNG 载货汽车给缺 LNG 的汽车充装液化气的方法，如图 10-2 所示。

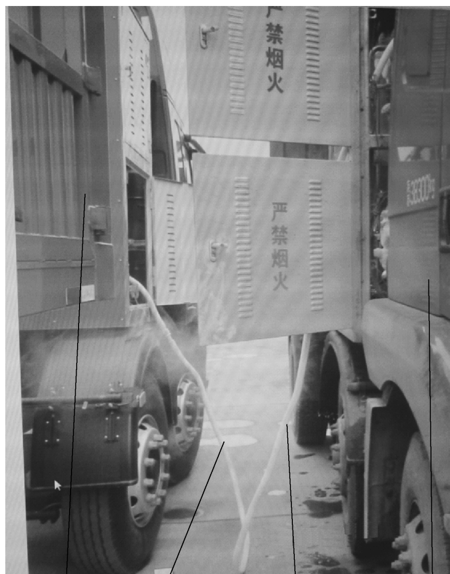


图 10-2　汽车补充加气

补充加液化气的方法：

1）将储气充裕的汽车气瓶（输出液化气瓶）的过流阀出液管接头拆掉，装上补充加气装置相应接头（相互连接螺纹相配），如图 10-3 所示 ，注意不得有灰尘、冰碴和水分残留在气管内和气管接头上。

2）将缺 LNG 的汽车气瓶（输入液化气瓶）的进液管接头拆掉，装上补充加气装置相应接头（相互连接螺纹相配），如图 10-3 所示，注意不得有灰尘、冰碴和水分残留在气管内和管接头上。

五、LNG 载货汽车补充 LNG 流程

加气过程中必须严格按操作流程进行，

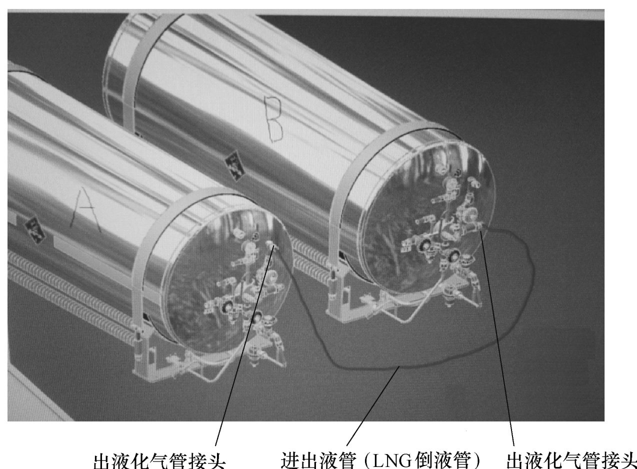


图 10-3　气瓶与加气装置连接

否则极易造成气瓶管路冰堵，气瓶阀门、管接头堵塞等现象。加液操作人员必须经过专业培训，持有国家相关行业颁发的操作合格证，并按规定穿戴好隔热防冻防护工作服、帽、鞋（图 10-4），检查并消除加 LNG 汽车周围的高温、易燃烧隐患。

1. 进液操作流程

1）清理补加 LNG 汽车气瓶上进液化气管、管接头、阀门处的尘土、冰霜、水分，防止在更换 LNG 进气管接头时，因进气管接头上的尘土、冰霜、水分进入管内，造成尘土堵塞或者出现冰堵，如图 10-5 所示。



图 10-4　穿戴好隔热防冻防护工作服、帽、鞋

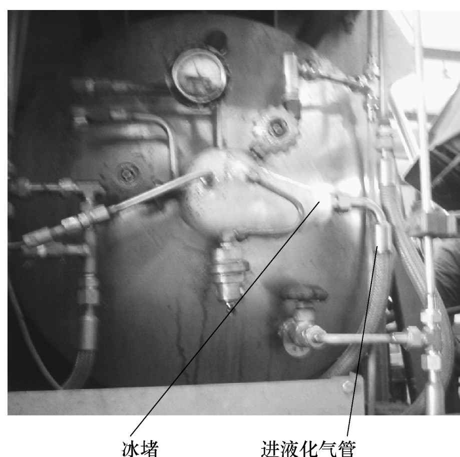


图 10-5　气瓶进液口冰堵

2）打开放空截止阀、关闭自增压截止阀，如图 10-6 所示。

3）放空气瓶的气体，使气瓶的压力至最低（零压力或者接近零压力）。

4）更换进液管接头，拆卸接头时，先松开接头螺纹 1 ~2 圈（图 10-7），观察气管内有无液化气和气体排出，若无液化气和气体排出，才能更换进液接头（正常情况下，应当没有液化气和气体排出）。

5）连接加液管于气瓶进液管接头上，如图 10-6 所示。连接时注意不得有杂物、冰霜、

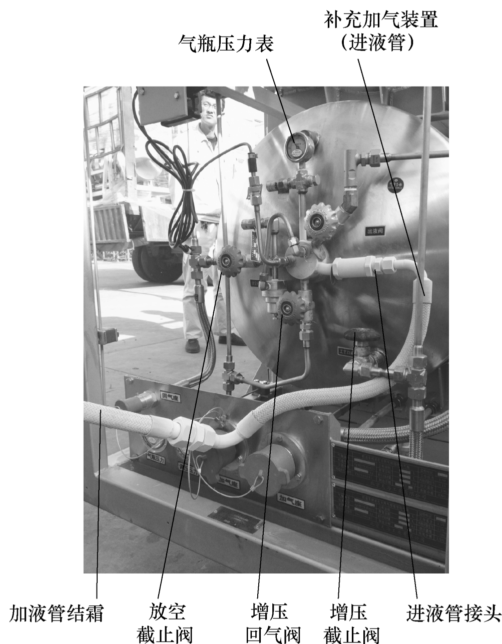


图 10-6　进液气瓶与进液管、管接头连接

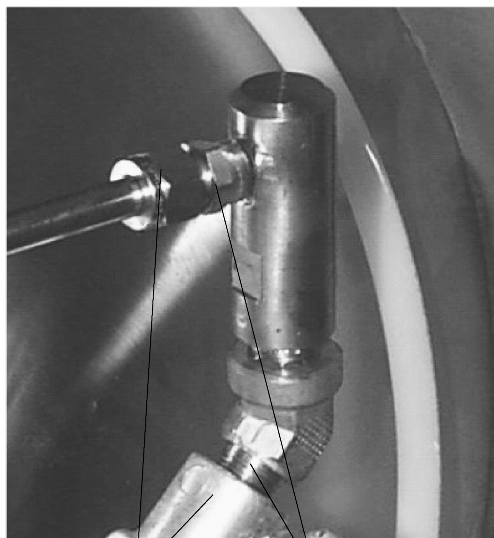


图 10-7　出液气瓶与出液管、管接头连接

水分进入管接头及回流入管内，拧紧管接头。

2. 出液操作流程

1）清理出液 LNG 载货汽车气瓶，出液化气管、管接头、阀门处的尘土、冰霜、水分，防止在更换出液化气管接头时，因接头上的尘土、冰霜、水分进入管内，造成尘土堵塞或者出现冰堵，如图 10-8 所示。

2）关闭出液截止阀，关闭放空截止阀、自增压截止阀、增压回气阀，如图 10-8 所示。

3）更换出液接头，拆卸接头时，先松开接头螺纹 1～2 圈（图 10-7），观察气管内有无液化气和气体排出，若无液化气和气体排出，才能更换出液接头（正常情况下，应当没有液化气和气体排出）。

4）连接加液管于出液管接头上，如图 10-8 所示。连接时注意不得有杂物进入管接头及回流入管内，拧紧管接头。

3. 进、出液化气流程

1）关闭进液化气瓶的增压截止阀、增压回气阀，打开放空截止阀，将气瓶的压力降至零压力或接近零压力，观察补充气瓶的压力表，检查气瓶的压力是否降到低至加液化气所需要的压力。

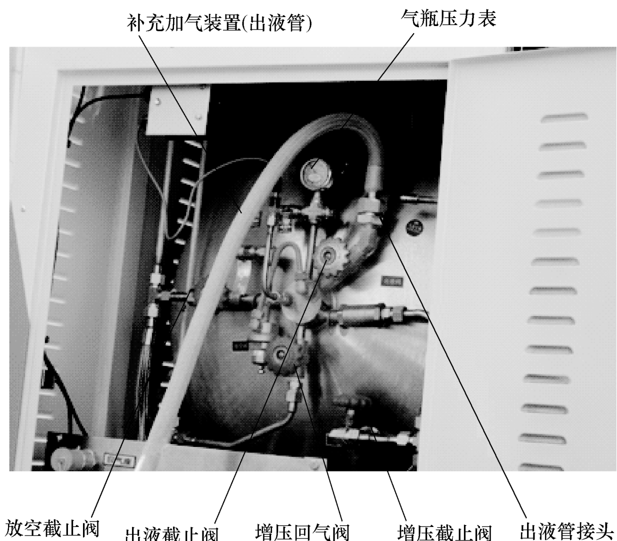


图 10-8　出液气瓶与出液管、管接头连接

2）打开出液化气瓶的增压阀、增压回气阀，关闭放空截止阀，将其压力尽量增加至 1.59～1.75MPa（增加至接近放空压力值），观察补充气瓶的压力表，然后关掉气瓶增压阀。

3）打开进液化气的气瓶进液截止阀，打开出液化气的气瓶出液截止阀，补充液化气至所需要量。

4）分别关闭进液气瓶、出液气瓶所有阀门。

5）拆卸和更换补充加气装置（进、出液管）管接头，进液化气瓶、出液化气瓶加液管接头。拆卸管接头前，先松开接头 1～2 圈（图 10-7），观察气管内有无液化气和气体排出，若无液化气和气体排出，才能更换加液化气、出液化气管接头。

6）分别打开进液气瓶、出液气瓶阀门，检查进液气瓶、出液气瓶各阀门、管接头有无泄漏现象，在确认无泄漏时（若有漏气现象，则应立即排除），才能恢复气瓶的正常工作状态，LNG 载货汽车才能行驶运行。

7）在补充加气正常时，液化气加气管会很快在表面结霜，如图 10-2、图 10-6 所示，这属于正常现象。

注意：

1）在保存补充加气装置时，应当注意保证管接头的密封良好，切忌管接头和连接管内进入灰尘、泥土以及水分，以避免在下一次充加液化气时灰尘、泥土进入气管内堵塞阀门，出现结冰及冰堵现象。

2）不同气瓶厂供气管路接头连接螺纹不同，因此，所配的补充加气装置连接的接头不能用于所有的气瓶。补充加气装置中两接头相连接的进出液管可适用于所有气瓶，针对不同的气瓶管接头，只需更换补充加气装置连接的进液管、出液管接头即可。

第四节　续驶里程的确定

由于 LNG 补充加气受到限制，因此，LNG 载货汽车行驶里程的确定，将直接关系到 LNG 载货汽车的正常行驶。为了避免 LNG 载货汽车在行驶途中因 LNG 用完而无法行驶，所以根据百公里气耗来判定续驶里程就尤为重要。

LNG 载货汽车的续驶里程，与其行驶的百公里耗气量密切相关。百公里耗气量确定后，运输途中 LNG 载货汽车的耗气量也就确定了，从而确定了续驶里程，这对于保证在运营途中，不因缺气而无法行驶尤其重要。

LNG 载货汽车的配置、负载、选配发动机参数、行驶路况都与燃气耗密切相关，直接影响到续驶里程的长短。不同 LNG 载货汽车的配置、负载、发动机匹配、行驶路况不同，续驶里程也不相同。下面以 JNP4250 牵引载货汽车（柴油载货汽车/LNG 载货汽车）运营行驶数据为例，分析比较续驶里程。

一、百公里耗气量运行试验

JNP4250N 牵引载货汽车（LNG 汽车），基本配置见表 10-1。为了评定 LNG 载货汽车的耗气量，对 JNP4250N 牵引载货汽车进行载货运输耗气试验，试验分别在山东寿光、淄博地区进行，行驶路况为综合路况（上坡、下坡、二级路和崎岖山路），总载重量为 55t。

表 10-1　JNP4250N 天然气牵引载货汽车基本配置

项　　目	基本配置参数
发动机	WP10336NGE40(LNG 发动机)
变速器	12JSD160TA(12 档)
前桥	6.5t
中后桥/速比	13t/4.42
整车装备质量	18t
最大总质量(整车装备质量+载货量)	55t
行驶车速	60~75km/h(空车载最高时速 120km/h)
最大爬坡度	21%
轮胎	12R22.5 前轮单胎、后轮双胎

二、百公里耗气量的测定

为了准确测定 JNP4250N 牵引载货汽车百公里耗气量，采取在实际载货运营中试验、收集数据，多次测定数据，综合取平均数值的方法。试验数据见表 10-2。

表 10-2　JNP4250N 牵引载货汽车燃气耗试验数据

JNP4250N 牵引载货汽车(LNG)		备　　注
总载重量	55t	
行驶路况	综合路况(上坡、下坡、二级路和崎岖山路)	
耗气量/行驶里程/(kg/km)	210.6/643	山东寿光
	167/500	山东淄博
百公里耗气量/kg	32.75	山东寿光
	33.4	山东淄博

气耗试验是在同一载货质量、同一试验路况、同一驾驶人操作同一辆 LNG 载货汽车情况下进行，数据是在 2012 年 6 月 ~7 月期间多次采集的平均值。LNG 载货汽车共计行驶 15 天。

评定方法：试验出车前加满 LNG，登记汽车仪表板上行驶里程数，以后每次收车后再加满 LNG，并记录行驶里程数，取其计算多次测定的平均数。

第五节　经济性评定

LNG 载货汽车经济性评定采取与同类型的柴油载货汽车，以相同的路况、负载重量、操作技术，在车辆性能完好的情况下进行比较。

一、基本配置

燃气耗/燃油耗与汽车的基本配置有很大的关系，为了确保试验的可比性，JNP4250N 载货汽车（LNG）与 JNP4250 牵引载货汽车（柴油）均采用同一车型、同一基本配置。其基本配置参数见表 10-3。

二、经济数据评定

试验是在同一载货质量、同一试验路况、同一驾驶人操作同一辆汽车情况下进行，数据是取多次采集的平均值。

表 10-3　JNP4250 载货汽车基本配置

项　　目	基本配置参数	
	JNP4250N 载货汽车(LNG)	JNP4250 载货汽车(柴油)
发动机型号	WP10336NGE40(LNG 发动机)	WP10. 336E30(柴油发动机)
变速器型号	12JSD160TA(12 档)	12JSD160TA(12 档)
前桥/t	6. 5	6. 5
中后桥/速比	13t/4. 42	曼桥/5. 2
整车装备质量/t	18	18
最大总质量(整车装备质量 + 载货量)/t	55	55
行驶车速/(km/h)	60 ~ 75	60 ~ 75
最大爬坡度	21%	21%
轮胎	12R22. 5 前轮单胎、后轮双胎	12R22. 5 前轮单胎、后轮双胎

评定方法：试验出车前加满 LNG/柴油，登记汽车仪表板上行驶里程数，以后每次收车后再加满 LNG/柴油，并记录行驶里程数，采用多次测定的平均数。表 10-4 是 JNP4250 载货汽车燃气耗/燃油耗试验数据及经济性对比。

表 10-4　JNP4250 载货汽车燃气耗/燃油耗试验数据

项　　目	JNP4250N 载货汽车(LNG)	JNP4250 载货汽车(柴油)	备　　注
载重量	120 ~ 140t		LNG 载货汽车和柴油载货汽车装载量相同
行驶路况	综合路况(上坡、下坡、二级路和崎岖山路)		
耗气(油)量/行驶里程/(kg/km)	210. 6/643	276. 49/643	行驶路段:山东寿光
	166/500	214. 12/505	行驶路段:山东淄博
耗气(油)量/百公里/(kg/km)	32. 75	43	行驶路段:山东寿光
	33. 2	42. 4	行驶路段:山东淄博
燃气(油)价格/[元/kg(L)]	5. 7	6. 58	
百公里燃气(油)费用/元	186. 67 ~ 189. 24	282. 94 ~ 279. 42	
经济性比较	LNG 载货汽车比柴油载货汽车节省费用 32% ~ 34%		

第十一章

LNG载货汽车停用、存放及维修时的安全性



由于LNG属于易燃、易爆气体，在气体泄漏或者排空气体达到一定浓度遇到明火时，很容易产生燃烧、爆炸，因此，在停放LNG载货汽车时，应将LNG载货汽车停放在通风良好的地方，在对LNG载货汽车维修时，采取必需的安全防范措施，以保证汽车维修的安全。

第一节　LNG载货汽车停用、存放

一、存放的条件

LNG载货汽车应停放在空旷、通风的地方，严禁存放在密闭的空间内。

停放LNG载货汽车场地的电器应为防爆形式。

停放LNG载货汽车场所不得有明火隐患。

停放LNG载货汽车场地道路应保持畅通，一旦LNG载货汽车出现事故隐患时，便于迅速离开。

二、存放保管

存放期超过5天的LNG气瓶必须将气瓶里的液体排出，且将气瓶的压力泄放至零压力（0MPa），并关闭所有阀门。

气瓶及相关配件在存放期间应当按照以下规定：

气瓶所有阀门均处于关闭状态，保持原有干燥氮气封存的0.02~0.05MPa压力，严禁开启任何阀门泄放内部压力。

不得开启气瓶的防爆堵塞（真空堵塞）盖，否则气瓶的真空将有可能丧失，气瓶将失去保温作用。

安全阀铅封不得进行破坏，除非气瓶的储存时间超过法规规定的安全阀定检周期（上次校验起12个月内）；需要送往技术监督部门进行检验的，由技术监督部门校验时进行拆封。

所有部件的防水胶带以及防尘装置不得随意开启，否则可能会因为空气的进入在使用过程中产生堵塞，或由于粉尘颗粒的进入，在使用过程中引起阀门泄漏、发动机受损。

所有部件应当远离腐蚀环境，存放地点不能露天。

第二节　维修操作前的必备安全条件

1）使 LNG 载货汽车远离火焰或电火花，周边不应有易燃、易爆物品。

2）在 LNG 载货汽车维修的地方不允许有烟火。

3）在拆卸 LNG 气瓶及其供气系统相关零件进行维修前，必须给 LNG 载货汽车气瓶排空、卸压，方可拆卸 LNG 气瓶及其供气系统相关零件。

4）维修场所必须配备适当数量的干粉灭火器。

5）周围应当有足够的水源。水源的目的是用来降温，而非灭火。

6）维修场所应当空气流通，必要时用排风扇进行强制通风，以稀释维修作业。

时因漏气产生的高浓度 LNG 气态气体。

7）维修场地所有用电设备不得有漏电、短路现象，避免电器设备短路出现火花。

第三节　维修前的安全要求

1）维修应当在通风良好的场地进行，保证通风率每分钟不低于密闭空间体积的 1/12。

2）应将 LNG 载货汽车停放在空气流通的地方，避免因气体泄漏或气体排出时形成高浓度，产生遇火焰燃烧的安全隐患。

3）维修 LNG 载货汽车前，应将气瓶内的压力调整到排空压力以下（一级安全阀排空的压力为 1.59～1.79MPa），且保证在整个维修作业期间内气瓶不得排空气体。在拆卸零件维修时，需要给 LNG 气瓶排空、卸压，应根据作业时间长短，确定 LNG 气瓶卸压后气瓶的压力值。

4）维修 LNG 载货汽车时，应当关闭维修站各种不用的电器设备，使其保持在断路的状态，在距 LNG 载货汽车一定距离（参见相关行业标准规定）内不得使用砂轮机，以避免火花出现。

5）在维修场地不得抽烟，不得使用手机等通信设备。

6）施焊前关闭汽车总电源，拔掉发动机 ECU 和变速器电脑盒插头。拆掉蓄电池正负导线，并将蓄电池的正负极导线短接。

7）检查 LNG 载货汽车供气系统有无漏气现象，严禁在漏气状态下进行施焊作业。

8）检查 LNG 气瓶的开启压力，严禁在达到 LNG 气瓶的开启压力，或者接近气瓶的排空压力状态下施焊作业。

9）在进行施焊作业前，关闭 LNG 气瓶放空阀、排液阀。

10）施焊前，将 LNG 载货汽车尾部的气瓶放空管口处用软管相连，用卡箍卡牢，将放空管口端点引向施焊作业较远处，且引出管口周围不得有火花源。

11）在气瓶周围 0.5m 范围内不允许施焊。若需施焊必须拆除气瓶及管路组件。

12）在施焊时，将施焊作业区域用金属挡板与气瓶供气装置隔离开，严禁焊接飞溅物溅向气瓶及其管路组件。

13）施焊作业时，焊接点附近的所有橡胶管、尼龙管路外表应进行严格的保护措施，严禁损坏。

14）进行施焊作业时，应在空旷的场地进行，并配以工业用风机，对着施焊作业现场吹拂，以利于空气流动。

15）施焊作业设备不应有易燃、易爆隐患。

16）施焊时，必须随时观察压力表的变化，一旦气瓶内的压力达到，或者接近排空压力时应立即停止施焊，以避免气瓶排空泄气时引起火灾。

第四节　维修中的安全条件

1）当 LNG 载货汽车气体泄漏时，必须立即熄火停止运行，将 LNG 载货汽车开到没有明火的场所。

2）LNG 载货汽车行驶在维修场内，当 LNG 气瓶的安全阀起跳，LNG 气态气体排空释放时，应注意 LNG 载货汽车行驶路途附近不得有引发 LNG 气态气体燃烧、爆炸的火源。

3）当 LNG 载货汽车突然起火时，若起火点远离 LNG 气瓶，需将 LNG 载货汽车马上熄火，并立即关闭 LNG 气瓶放空阀门、排液阀门，用灭火器扑灭起火点，严禁用水扑灭泄漏产生的水灾。

在 LNG 载货汽车行驶过程中，因为空气流通，不容易因气体密度过浓而出现

不安全的现象。

当 LNG 载货汽车在环境温度高的地方作业时，由于环境温度较高，外界的热量会很快通过气瓶的外壳传递到气瓶内层，从而加快 LNG 汽化速度，造成 LNG 气瓶内压力快速升至排空压力限值，一级安全阀打开，LNG 气瓶里的气体大量排出气瓶。此时良好的通风环境能很快降低排空释放的气体密度，使其排空释放在空气中 LNG 气态气体的体积分数小于 5%，避免产生燃烧、爆炸的条件。所以当 LNG 载货汽车不行驶停放时，应将汽车停放在空旷或空气流通的地方。

第十二章

LNG 载货汽车故障码显示与诊断



在 LNG 载货汽车出现故障后，除了采用经验法直观地判明、及时处理故障外，还应当借助故障诊断仪进行检测判别。在使用故障诊断仪进行故障诊断判明时，应当熟悉、了解故障诊断仪显示的故障码和所对应的故障模式。

不同型号的发动机，由于控制系统不同，其故障模式是不相同的，因此故障诊断方式也就不同。

虽然故障诊断仪对于 LNG 载货汽车发动机故障诊断非常快捷、有效，但是，故障诊断仪只能适用于电控发动机，对于非电控发动机，往往还是采用实际工作中积累的经验进行故障的判别处理。

下面以国内某 LNG 发动机来说明 LNG 载货汽车采用故障诊断仪，对典型故障的判别、处理。

一、故障判断步骤和技巧

进行故障诊断时应遵循以下原则：

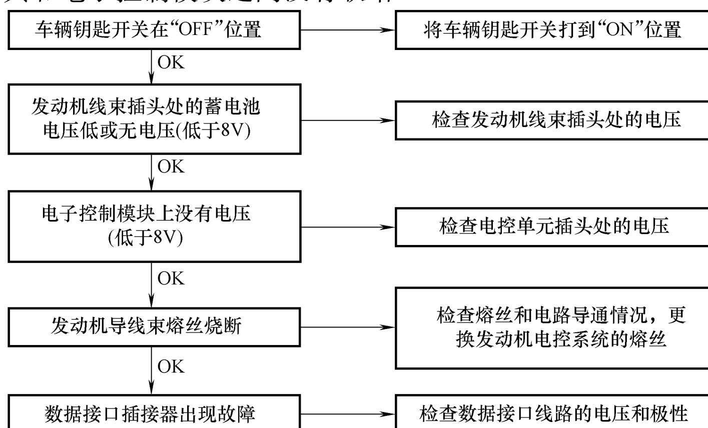
1）在用诊断仪诊断故障前，应先详细了解故障产生的症状，这对于故障诊断是很有帮助的。

2）对于疑难故障，判断症状应根据故障症状模式，参照目录页号以找到正确的症状树，必要时可借助并参阅相关系统图纸、资料。

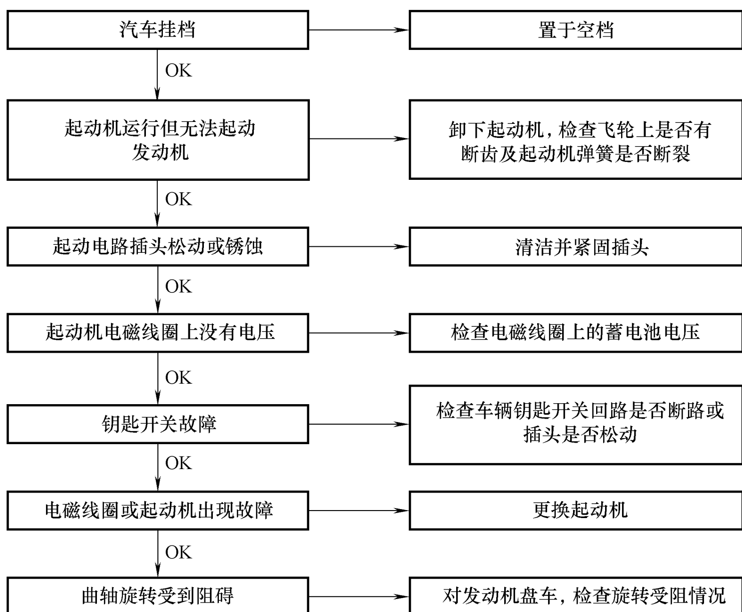
3）首先处理最容易和最合乎逻辑的故障，找到故障原因并解决问题。

二、用故障诊断仪判别、处理故障

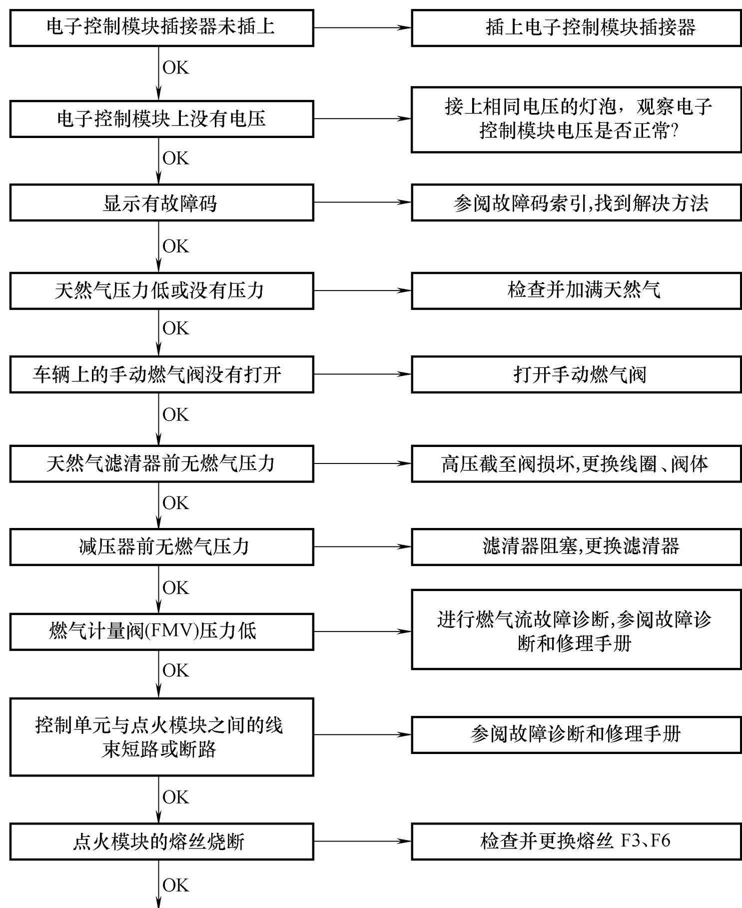
（1）诊断工具和电子控制模块之间没有联络

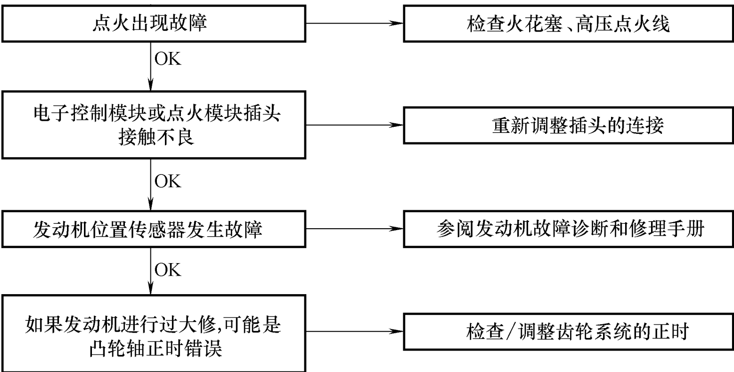


（2）发动机无法起动

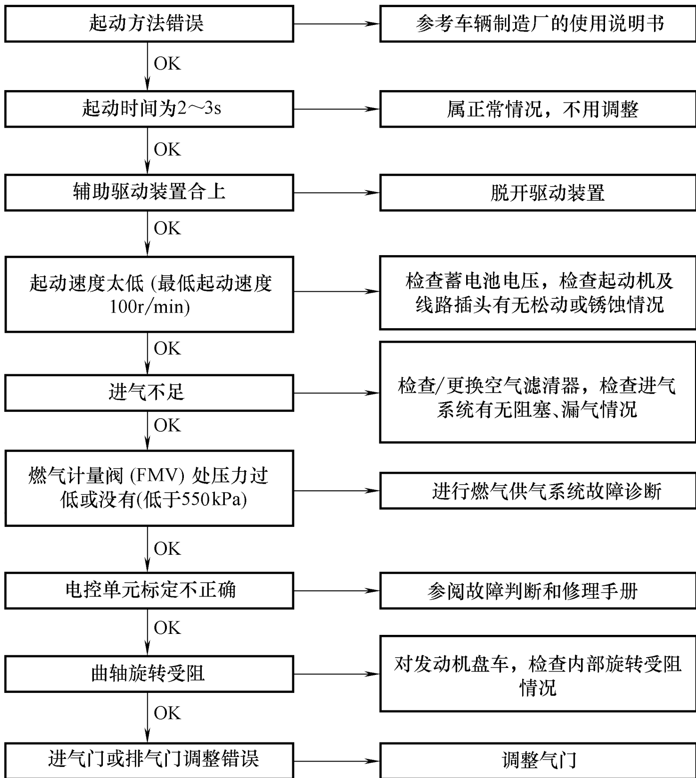


（3）起动机工作，但无法起动发动机

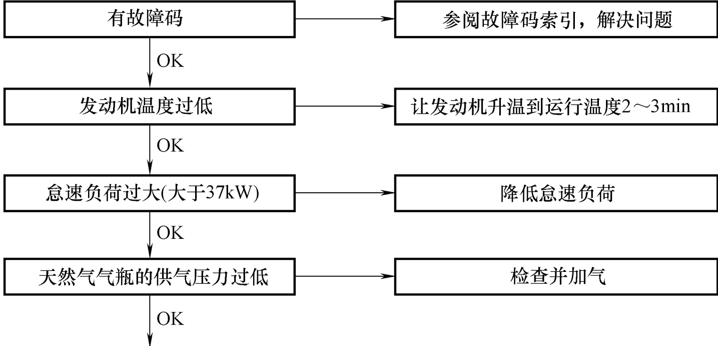


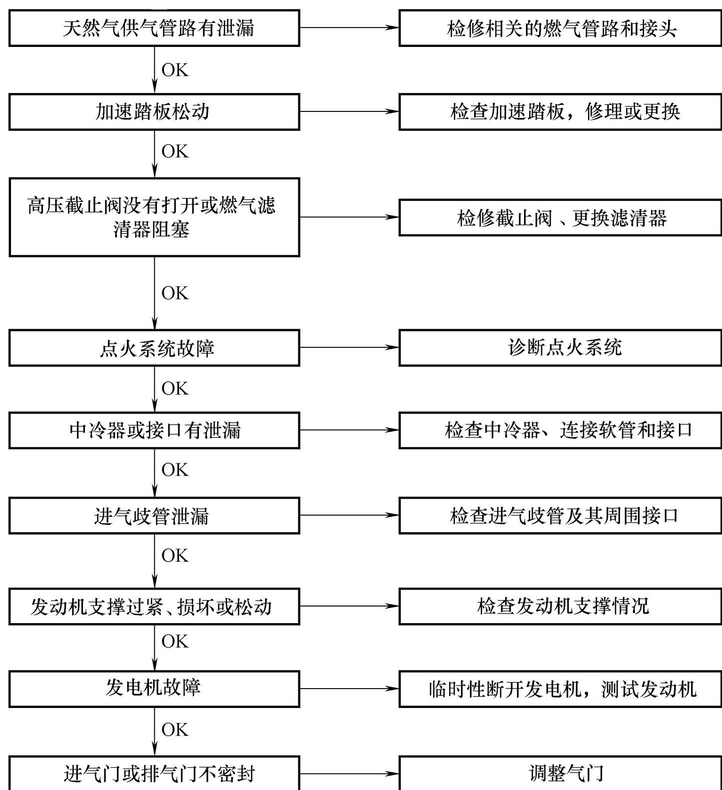


（4）起动困难（起动时间长）

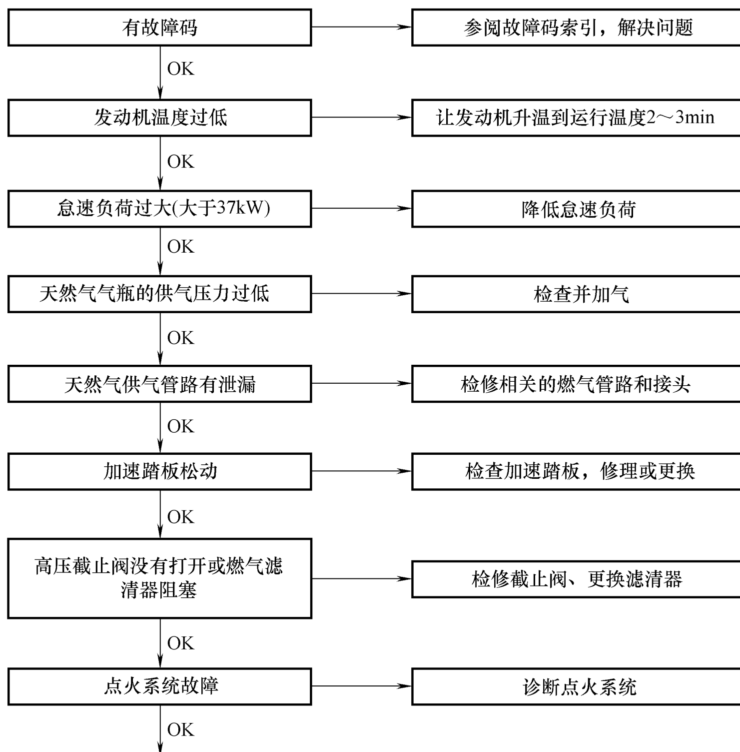


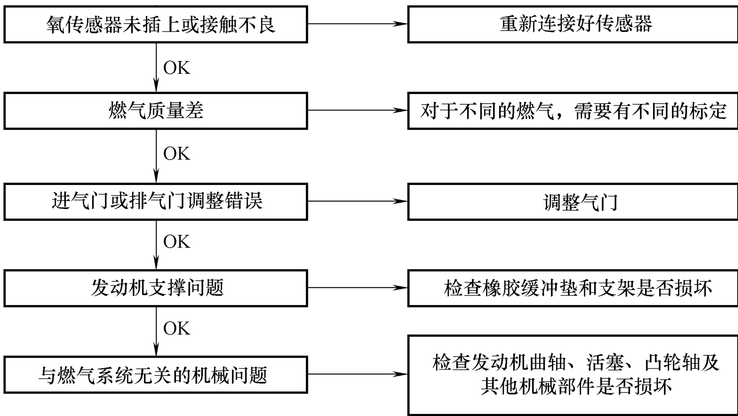
（5）发动机低怠速时喘振




天然气供气管路有泄漏
检修相关的燃气管路和接头
OK
加速踏板松动
检查加速踏板，修理或更换
OK
高压截止阀没有打开或燃气滤清器阻塞
检修截止阀 、更换滤清器
OK
点火系统故障
诊断点火系统
OK
中冷器或接口有泄漏
检查中冷器、连接软管和接口
OK
进气歧管泄漏
检查进气歧管及其周围接口
OK
发动机支撑过紧、损坏或松动
检查发动机支撑情况
OK
发电机故障
临时性断开发电机，测试发动机
OK
进气门或排气门不密封
调整气门

（6）怠速粗暴

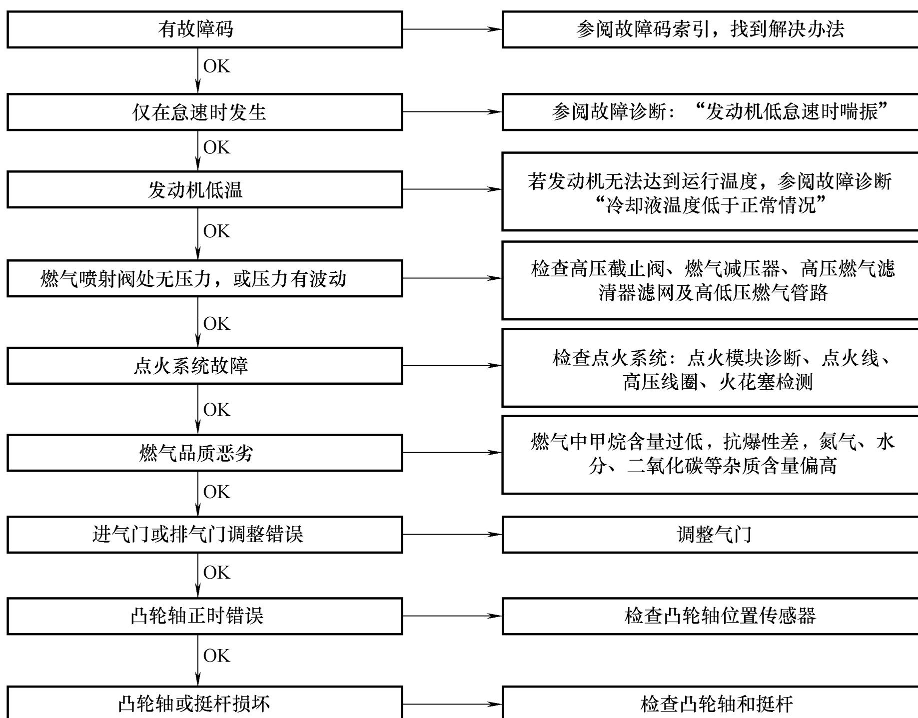

有故障码
参阅故障码索引，解决问题
OK
发动机温度过低
让发动机升温到运行温度2～3min
OK
怠速负荷过大(大于37kW)
降低怠速负荷
OK
天然气气瓶的供气压力过低
检查并加气
OK
天然气供气管路有泄漏
检修相关的燃气管路和接头
OK
加速踏板松动
检查加速踏板，修理或更换
OK
高压截止阀没有打开或燃气滤清器阻塞
检修截止阀、更换滤清器
OK
点火系统故障
诊断点火系统
OK


氧传感器未插上或接触不良
重新连接好传感器
OK
燃气质量差
对于不同的燃气，需要有不同的标定
OK
进气门或排气门调整错误
调整气门
OK
发动机支撑问题
检查橡胶缓冲垫和支架是否损坏
OK
与燃气系统无关的机械问题
检查发动机曲轴、活塞、凸轮轴及其他机械部件是否损坏

（7）加速性能差


询问驾驶人
获得所有关于问题的细节
OK
车辆的驱动系统更改，导致与发动机不匹配
检查车辆齿轮传动系统与发动机匹配是否正确
OK
有故障码
参阅故障码索引，解决问题
OK
车辆附件负荷过大
检查冷却风扇、空调以及车辆制动系统阻力是否过大
OK
加速踏板运动受阻
检修加速踏板，并通过发动机监测工具检查节气门的百分比读数
OK
进气系统漏气
检查中冷器、连接软管及其接口是否漏气，紧固接头，更换软管
OK
进气或排气系统受阻
检查进气系统或排气系统阻力
OK
电子控制模块标定错误
参阅电控系统诊断手册
OK
燃气计量阀处压力过低
检查燃气减压器低压气路是否通畅
OK
氧传感器测量值错误，导致混合气过稀
用监控工具检测氧传感器测量值，并进行开环工作测试，必要时更换氧传感器
OK
增压压力传感器出现故障
用监控工具检测压力传感器的测量值，并与机械压力表相比较，确定故障原因
OK
排气放气阀始终处在开的位置
检查排气放气阀拉杆弹簧、空气减压器出口压力以及在诊断模式下电磁阀是否放气
OK
进气门或排气门调整错误
调节气门
OK
火花塞或点火系统故障
检查火花塞，用监测工具对点火系统做故障诊断

(8) 发动机工作粗暴或缺火

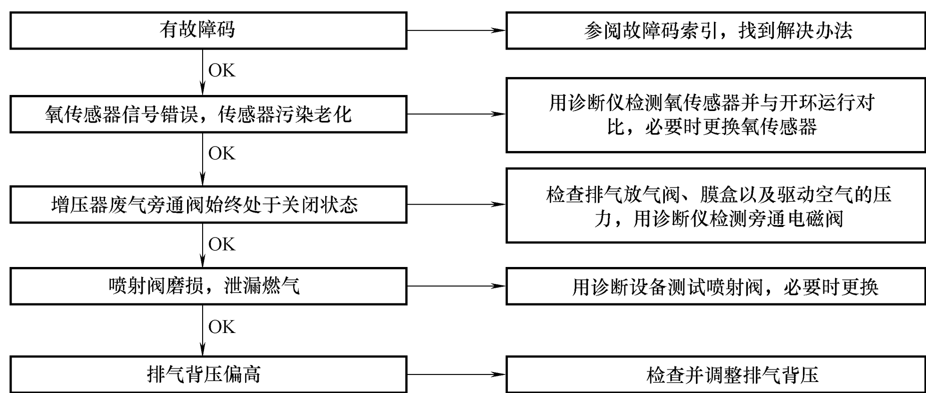


(9) 功率过低

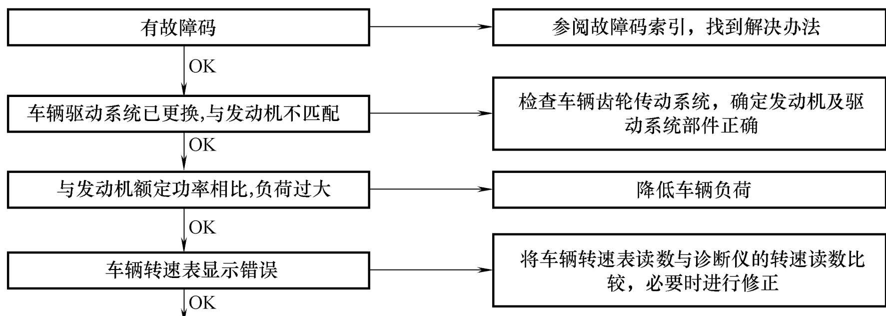


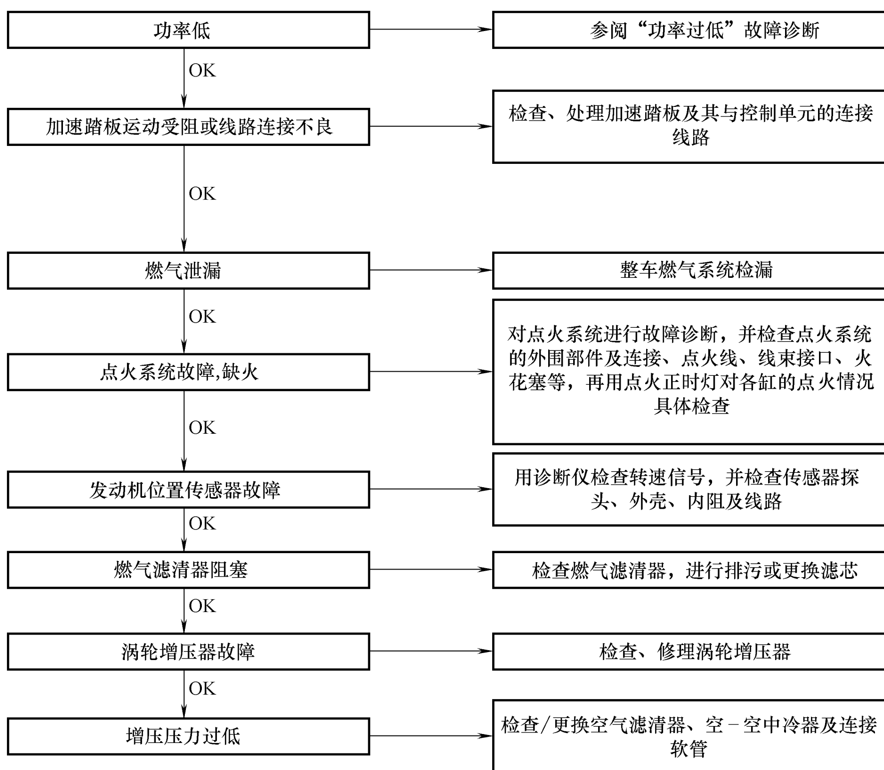


（10）发动机输出功率过高

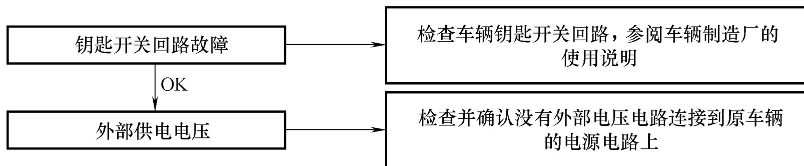


（11）负载情况下不能达到额定转速

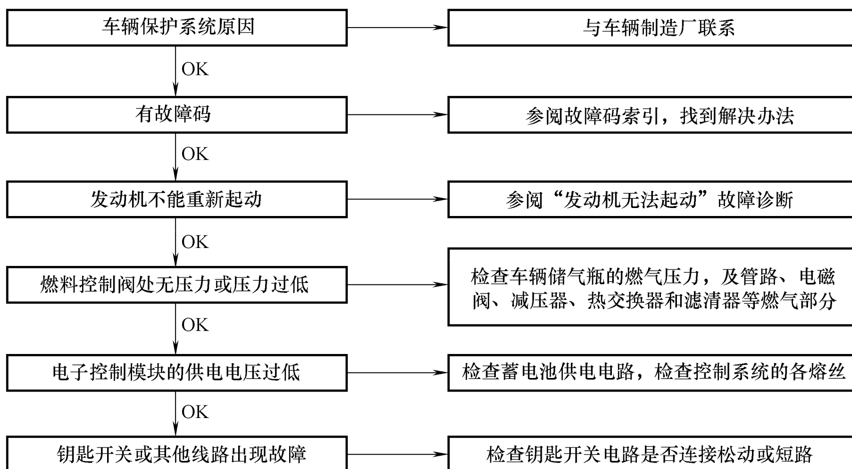




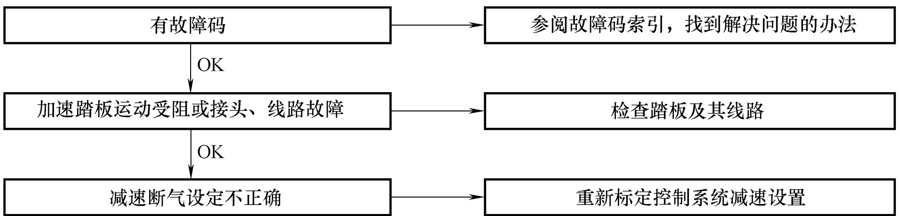
（12）发动机无法停机



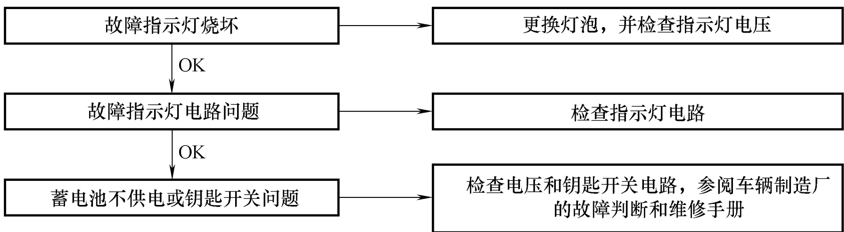
（13）发动机意外停机或在减速时熄火



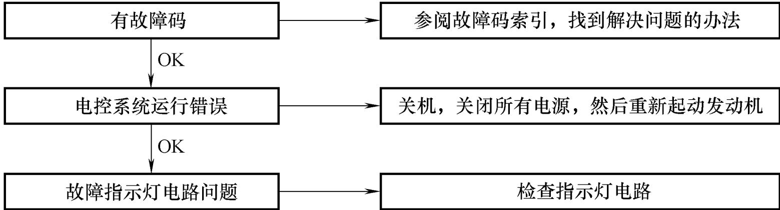
(14) 发动机减速过慢



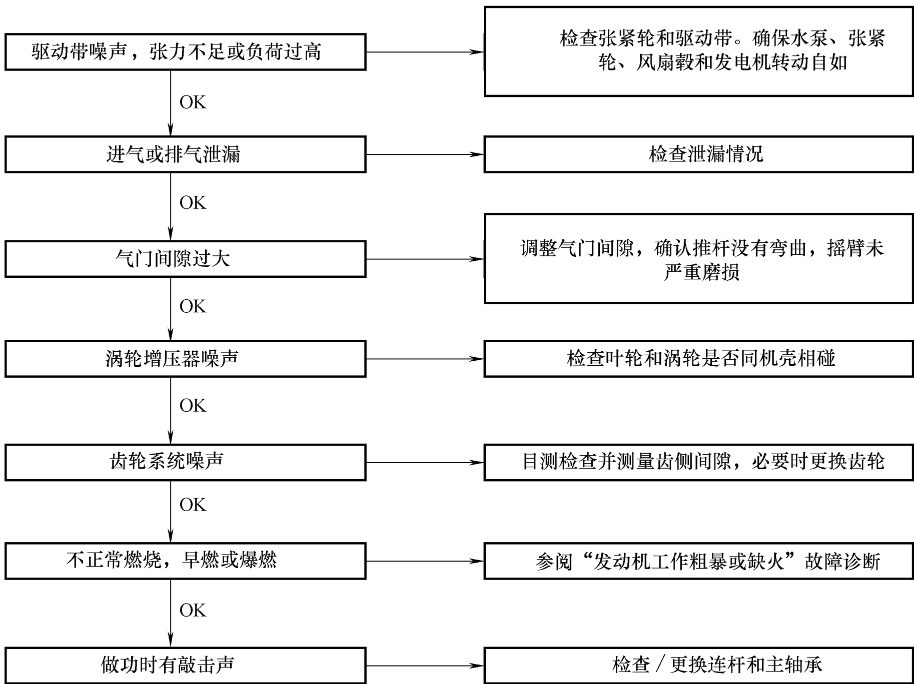
(15) 故障指示灯不工作



(16) 故障指示灯在无明显问题的情况下持续点亮



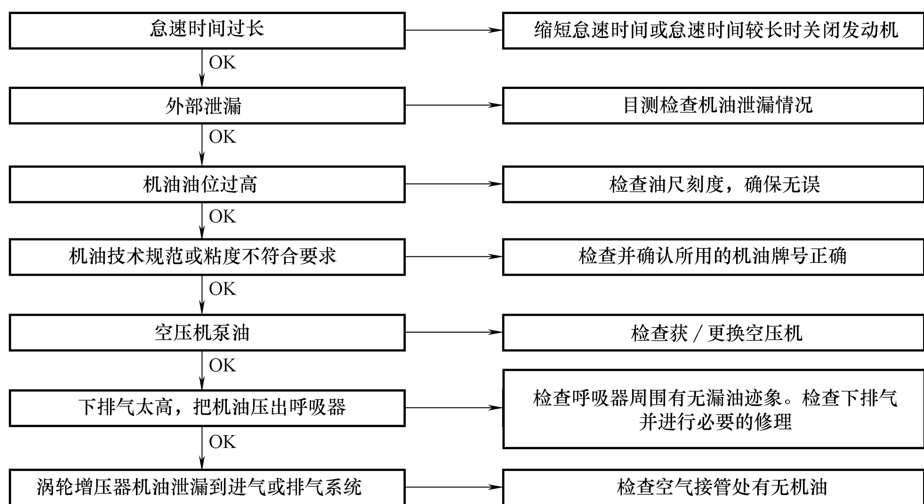
(17) 发动机噪声过大



（18）燃气消耗过高



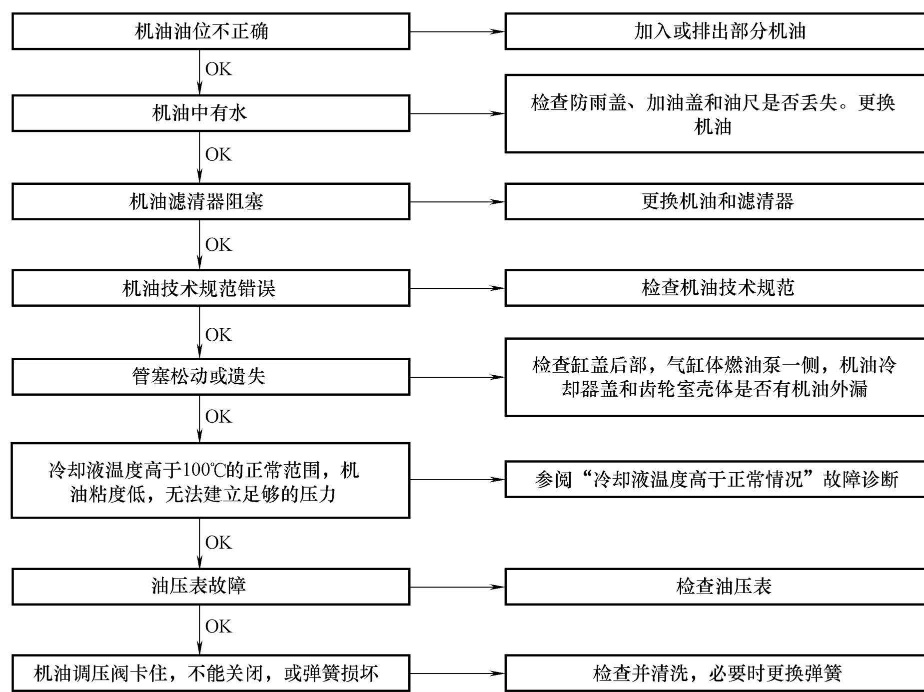
（19）机油消耗过高



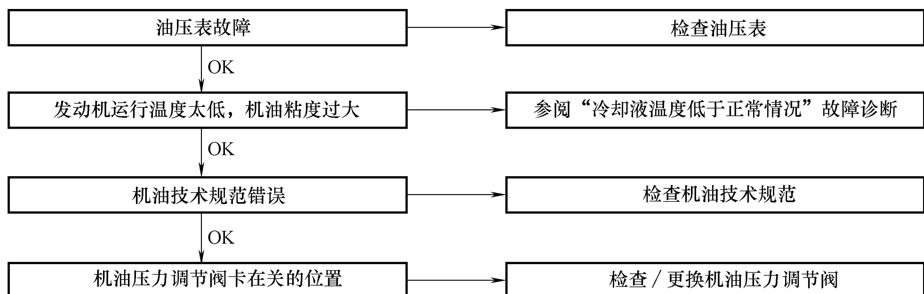
（20）发动机振动过大



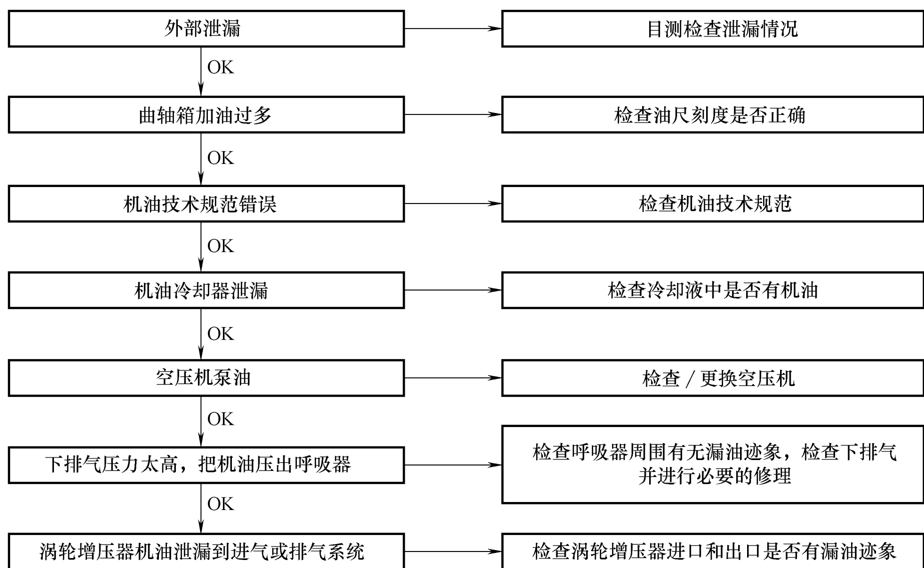
（21）机油压力过低



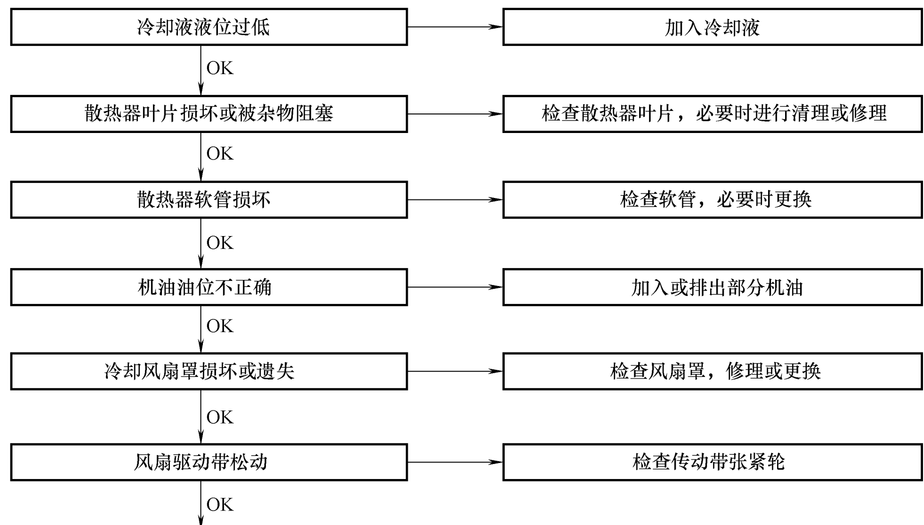
（22）机油压力过高

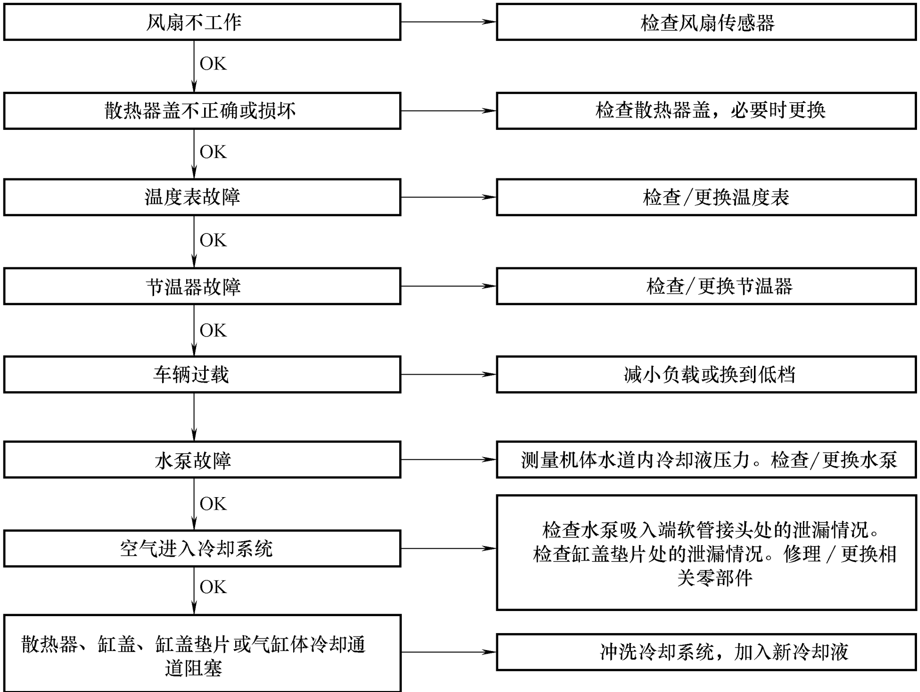


（23）机油损失

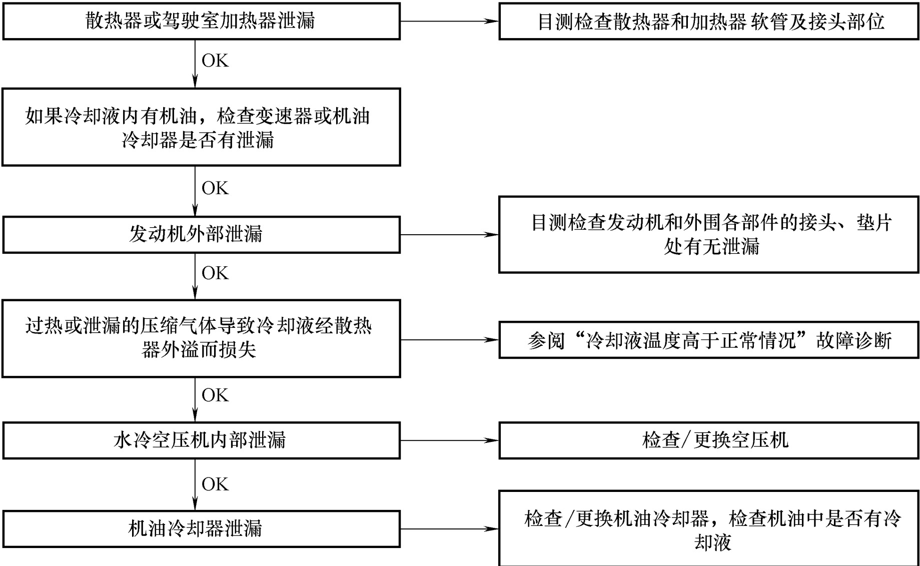


（24）冷却液温度高于正常情况

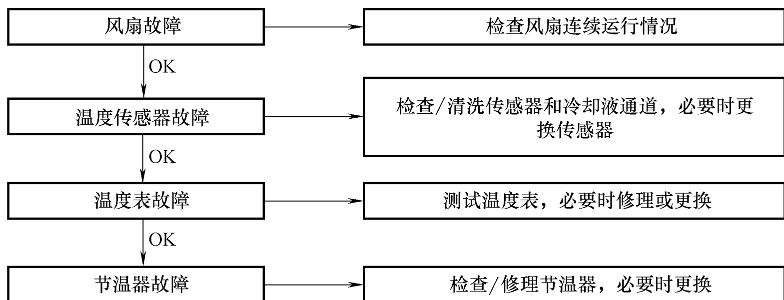



风扇不工作
检查风扇传感器
OK
散热器盖不正确或损坏
检查散热器盖，必要时更换
OK
温度表故障
检查/更换温度表
OK
节温器故障
检查/更换节温器
OK
车辆过载
减小负载或换到低档
水泵故障
测量机体水道内冷却液压力。检查/更换水泵
OK
空气进入冷却系统
检查水泵吸入端软管接头处的泄漏情况。检查缸盖垫片处的泄漏情况。修理 / 更换相关零部件
OK
散热器、缸盖、缸盖垫片或气缸体冷却通道阻塞
冲洗冷却系统，加入新冷却液

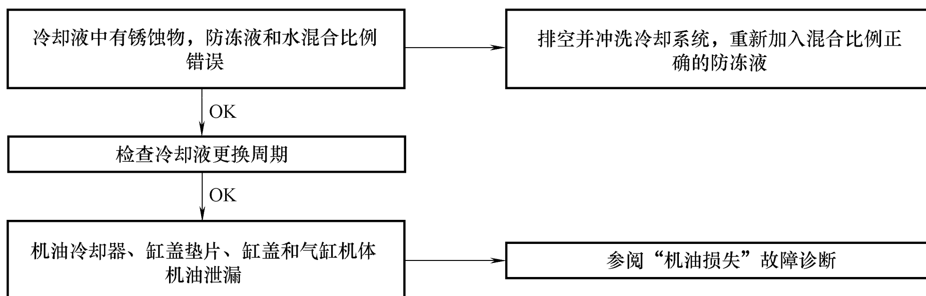
(25）冷却液损失


散热器或驾驶室加热器泄漏
目测检查散热器和加热器 软管及接头部位
OK
如果冷却液内有机油，检查变速器或机油冷却器是否有泄漏
OK
发动机外部泄漏
目测检查发动机和外围各部件的接头、垫片处有无泄漏
OK
过热或泄漏的压缩气体导致冷却液经散热器外溢而损失
参阅“冷却液温度高于正常情况”故障诊断
OK
水冷空压机内部泄漏
检查/更换空压机
OK
机油冷却器泄漏
检查/更换机油冷却器，检查机油中是否有冷却液

（26）冷却液温度低于正常情况



（27）冷却液污染



第十三章

LNG 载货汽车供气部件校检及主要零部件间隙调整



供气系统的阀门、压力表必须定期进行校验，并保证阀门、压力表在校验有效期内测量准确、密封可靠。气瓶支架应紧固可靠，定期检查紧固螺栓是否有松动现象。

LNG 载货汽车运行中，相关运动零部件的间隙，会随着汽车行驶中的振动而发生变化，在日常保养和各级维护保养中，要随时检查运动零部件间隙的变化，并按照汽车规定要求进行调整。

第一节　供气系统部件定期校检

LNG 气瓶，各种阀门、压力表属于压力容器部件，为了保证其正常工作，从而确保 LNG 载货汽车的安全、正常运行，必须对这些部件定期进行校检。

目前 LNG 气瓶，各种阀门、压力表的校检要求参照表 13-1 进行。

表 13-1　LNG 气瓶，各种阀门、压力表的校检要求

序号	保 养 内 容	保养间隔时间	保 养 要 求	备　　注
1	气瓶固定支架连接螺栓(螺母)	7 ~ 15 天	检查螺栓(螺母)是否松动	非高速路况 7 天,高速路况 15 天
2	气瓶管路接头	日检查	目视是否有松动、漏气现象	
3	阀门	日检查	是否关闭不严、是否泄漏	
4	安全阀	12 个月	送当地技术监督部门校检	
5	压力表	6 个月	送当地技术监督部门校检	
6	汽化器	6 个月	清理盘管上的水垢	
7	自增压器	6 个月		
8	缓冲罐	6 个月		
9	气瓶真空度	12 个月	压力测试	
10	漏气检查	日检查	气密封试验或探测检漏	气密封试验可借助漏气探测器或者肥皂水进行检查

气瓶、阀门、安全阀等校检应由有资质的质量技术监督局进行，校检后出具校检合格证，超校检期使用的气瓶，各种压力阀、压力表极易出现不安全的隐患。

第二节　主要零部件间隙调整

LNG 载货汽车主要装配零部件间隙的正常与否，是保证汽车正常运行的首要条件。当

汽车行驶中零部件磨损，间隙增大以后，就必须及时调整至各零部件要求的间隙。

一、气门间隙调整

气门间隙调整分为热态和冷态两种形式，而一般汽车发动机所标定的气门间隙为冷态时气门间隙值。由于发动机运转时，气门各零部件会因受热而发生膨胀变形，在调整气门间隙时，应当予以考虑到这种热变形对气门间隙造成的变化。在发动机停机热车时调整气门间隙，根据经验此时可取气门间隙（冷态）的 70%。在发动机长时间停机冷车时调整气门间隙，此时可取气门间隙（冷态）的规定值。

（1）气门调整方法

1）第一种方法。按照发动机点火次序（1-5-3-6-2-4）转动曲轴，使该缸处在工作行程的上止点位置，此时进、排气门皆完全关闭。进行气门间隙调整，全部调整完毕需旋转曲轴 720°。

2）第二种方法。曲轴只需旋转 360°。在第一缸活塞压缩行程开始上止点，调整一缸进、排气门间隙，同时可以调整二进、三排、四进和五排的气门间隙，然后转动曲轴至第六缸压缩行程开始上止点，调整六缸进、排气门间隙，同时可以调整二排、三进、四排和五进的气门间隙，见表 13-2。

表 13-2　气门间隙调整顺序

行程＼气缸	一缸	二缸	三缸	四缸	五缸	六缸
一缸压缩行程	进排气门	进气门	排气门	进气门	排气门	不能调整
六缸压缩行程	不能调整	排气门	进气门	排气门	进气门	进排气门

（2）检查、调整气门间隙的步骤

1）在发动机热车或者冷车状态下，按发动机旋转方向盘车，将发动机气门运行至第一缸、第六缸压缩上止点，盘车时注意观察飞轮上的刻线与所对应指针相对齐，如图 13-1 所示。

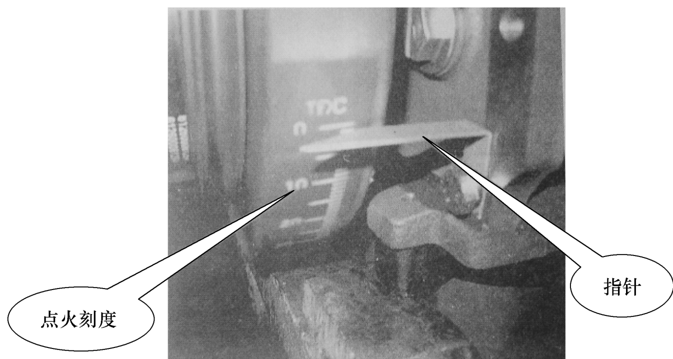


图 13-1　飞轮上刻线与飞轮壳上指针

2）拆下气缸盖罩，判明第一缸或者是第六缸处于压缩行程上止点。若不在上止点时，则需盘车将气门运行至上止点。处于压缩行程的气缸进、排气门与摇臂间都有间隙。

3）按表 13-2 调整顺序，用塞尺检查气门头部与气门摇臂间的间隙，如图 13-2 所示。JNP4250N LNG 载货汽车发动机气门间隙：进气门（冷态）为 (0.3 ± 0.03) mm，排气门（冷态）为 (0.4 ± 0.03) mm。

4）若气门间隙过大或者过小，可以通过调整摇臂上的气门调整螺栓来达到气门间隙要求。

二、曲轴轴向间隙调整

将千分表和表架固定在气缸体上，表针轻触曲轴侧面，参考图 9-95，用撬棍沿轴向拨

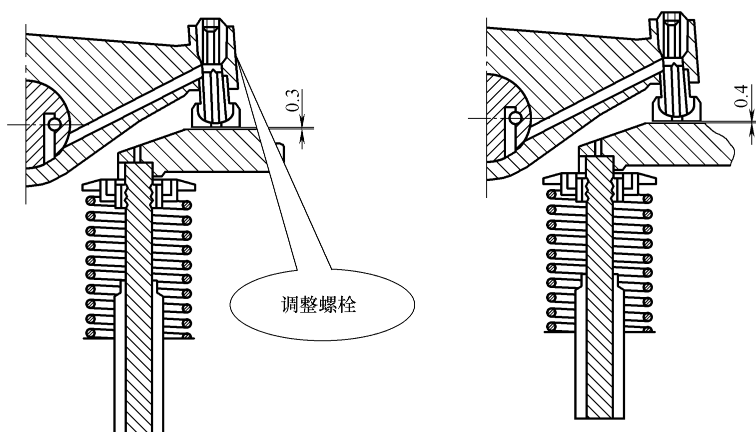


图 13-2 气门间隙调整

动曲轴，撬棍撬到底所测得的轴向位移值，即为曲轴轴向间隙。

当用撬棍沿轴向拨动曲轴，撬棍撬到底时，也可用塞尺来测量曲轴轴向间隙值。

JNP4250N LNG 载货汽车发动机曲轴轴向间隙标准值为 0.045 ~ 0.32mm，当超过标准值时，应更换第五道主轴承和推力轴承。

曲轴的轴向间隙要经常检查，间隙过大或者过小，对于曲轴旋转以及发动机的正常工作都是不利的：曲轴的轴向间隙过小，容易引起曲轴旋转阻力增大，曲轴有烧蚀现象；曲轴的轴向间隙过大，则会引起曲轴轴向窜动，发动机出现异响。

三、压缩余隙检查

压缩余隙是指当活塞在上止点时，气门头部底平面与活塞顶之间的间隙。在汽车上，常用直观的压痕法检查。

检查方法：拆卸气缸盖螺栓，拆下气缸盖总成，清理干净活塞顶部和气门头部底平面的积炭，在活塞顶上放一小段（约长 10mm，直径大于发动机压缩余隙）易压成形物，如熔丝。由于活塞顶上加工有燃烧室凹坑，因此在活塞顶上摆放熔丝等易压成形物时，应注意将熔丝等放在活塞顶气门相对应能被压缩的位置上，不得掉入燃烧室凹坑内。然后按发动机气缸盖拆卸顺序逆向操作步骤装复气缸盖，摇转曲轴，使活塞运行经过上止点，通过活塞顶部与气门底平面压缩熔丝等，然后拆卸气缸盖，测量被压缩后的熔丝厚度，即为发动机压缩余隙。

1. 压缩余隙过小的影响

设计发动机时，压缩余隙是经过设计计算和实践验证而确定的。压缩余隙过小，在发动机工作时，燃烧的热负荷将会使气门机构、活塞连杆运动组件受热膨胀，以及生产制造过程中产生的累计偏差，可能会造成发动机运动时活塞与气门顶相碰撞，以致损坏活塞、气门，甚至损坏气缸盖、气缸体等零部件。

为此，部分发动机为保证较小的压缩余隙，避免气门头部与活塞顶相碰撞，往往在活塞顶上加工有避让气门凹坑。如某发动机压缩余隙为 0.9 ~ 1.4mm，为避免气门头部与活塞顶部相碰撞，在活塞顶上加工有进、排气门凹坑各一个，如图 13-3 所示。

2. 压缩余隙过大的影响

压缩余隙过大就意味着发动机燃烧室增大，发动机的压缩比就相应减小，发动机的工作压力减小，发动机燃烧热效率将急剧下降。因此，在考虑到发动机活塞、连杆运动等零件在热负荷变形的前提下，压缩余隙应尽可能小。

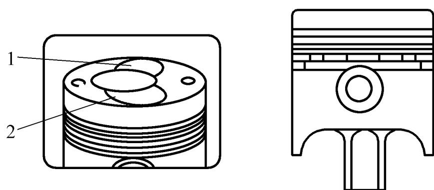


图 13-3 活塞顶气门凹坑
1—进气门凹坑 2—排气门凹坑

四、活塞环开口间隙、侧隙、背隙检查

1. 活塞环开口间隙测量

测量时，先将活塞环平放在所配气缸孔内，并用活塞头部将活塞环推至气缸孔里往复运动，然后用塞尺测量其开口处的间隙。若间隙超差，则不能使用；若间隙过小，可取出来用细锉刀锉环口一端，直到符合要求为止。

2. 活塞环侧隙测量

侧隙是指活塞环装入活塞环槽之后平面间形成的间隙。侧隙过大，容易密封不好而漏气，影响燃烧室密封作用；侧隙过小，活塞环膨胀在活塞环槽内，容易卡住或者失去弹性。

装配使用时，应以活塞环在活塞环槽内滚动时不松不滞为宜，也可用塞尺测量活塞环与活塞环槽间的间隙，如图 9-92 所示。若侧隙过大，则必须更换活塞环；若侧隙过小，可将活塞环平放研磨，使之达到规定值。

3. 活塞环背隙测量

背隙是指活塞与活塞环装入气缸后，在活塞环背部与活塞环槽之间的间隙。测量时常用活塞上活塞环槽深和活塞环宽度之差加以计算。

活塞环开口间隙必须在所配气缸里测量选配。因为在不同气缸孔内，同一道活塞环因为气缸直径变化，活塞环开口间隙变化也很大。气缸孔直径与活塞环开口间隙变化关系为

$$L = \pi D$$

式中 L——活塞环开口间隙；

D——气缸孔直径。

五、离合器踏板自由行程的调整

车型不同，离合器踏板行程也不相同。JNP4250N 载货汽车离合器踏板自由行程为30 ~ 40mm，离合器踏板行程（有效行程）一般为 170 ~ 210mm，如图 13-4 所示。

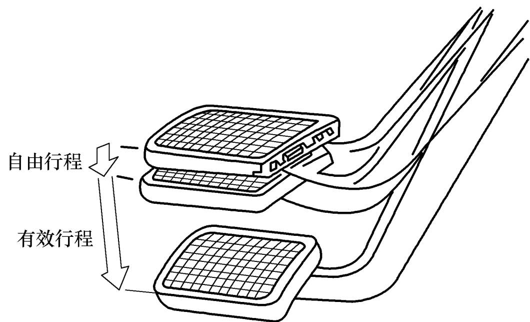


图 13-4 离合器踏板行程

自由行程就是空行程，即虽然踩下了离合器踏板，但分离轴承没有动。如果没有自由行程，就会出现离合器打滑或发抖故障，就好像离合器始终处于半联动状态。踏板行程就是离合器压盘与从动盘开始接触到完全啮合为止，踏板运行的距离。

离合器踏板的自由行程是分离轴承与分离杠杆之间间隙的体现，此间隙随着从

动盘摩擦片的磨损而逐渐变小。若间隙太小甚至没有间隙，分离轴承因与分离杠杆长时间接触会迅速磨损，导致损坏，离合器在接合期间会出现“打滑”故障。如间隙太大，离合器将出现分离不开的故障。因此，应定期检查调整离合器踏板的自由行程。

离合器踏板自由行程可用普通直尺在踏板处测量，如图 13-5 所示。先测出踏板在最高位置时的高度，再测出按下踏板感到稍有阻力时的高度，两者之差即为离合器踏板自由行程，如自由行程不合要求，应及时调整。对机械操纵式离合器，可改变踏板拉杆的长度进行调整。拧紧踏板拉杆上的调整螺母，自由行程减小，反之增大。调整合适后用锁紧螺母锁紧，如图 13-6 所示。

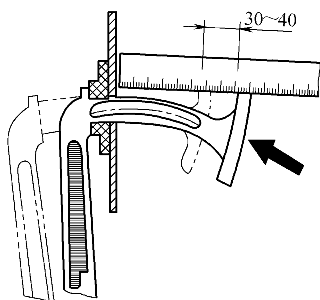


图 13-5　用普通直尺测量离合器踏板自由行程

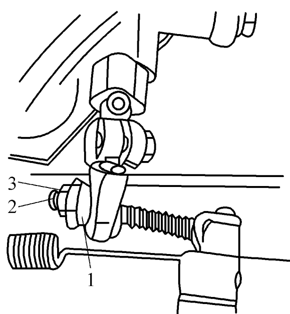


图 13-6　调整离合器踏板自由行程

1—球形调整螺母　2—分离拉杆　3—锁紧螺母

假如踏板没有自由行程，即在放松离合器踏板时，分离轴承仍与膜片弹簧内端保持接触，这样，将会加速分离轴承损坏。如果膜片弹簧受到分离轴承的推压，在传送发动机力矩时，将会使离合器产生打滑。如果踏板自由行程过大，则使分离轴承推动膜片弹簧前移的行程缩短，压盘向后移动的距离也随之缩短，不能完全解除压盘对从动盘的压力，从而不能使离合器彻底分离，造成换档困难。

离合器分离轴承与分离环之间应有适当的间隙，该间隙表现为分离摇臂上端有一定的空行程，在离合器踏板上的表现为自由行程为 35～40mm。该自由行程的大小是通过调整连接螺栓来实现的。由于离合器有气压助力装置，因此在气压较高时，操作离合器踏板较为省力，使自由行程感觉不大明显。所以，在检查离合器踏板的自由行程时，要降低气压，以便能明显地感觉到离合器踏板的自由行程。

附录



符号及功能说明

序号	符号	名　　称	说明(表达式)
1	LNG	液化天然气	
2	CNG	压缩天然气	
3	℃	摄氏温度	
4	CO	一氧化碳	
5	$HC + NO_x$	碳氢化物 + 氮氧化物	
6	CO_2	二氧化碳	
7	C_6H_6	苯铅粉尘	
8	P_e	发动机有效功率	kW(千瓦)
9	M_e	发动机有效转矩	N·m(牛·米)
10	n	发动机曲轴转速	r/min(每分钟转速)
11	g_e	燃气(油)消耗率	g/kW·h(克/千瓦·小时)
12	G_t	每小时燃油消耗量	kg/h
13	r/min	每分钟转速	
14	max	最大值(最多值)	
15	min	最小值(最少值)	
16	MJ	兆焦	热量的单位
17	kg	质量	千克(重量单位)
18	km	距离	千米(公里)
19	m^3	物体体积	立方米
20	L	体积单位	升
21	t	重量单位	吨
22	oz	盎司	容积单位
23		货币单位	元
24	μm	微米	长度单位
25	m^3/h	每小时流量	立方米/小时
26	C1	低温进液口	用于加充液化气
27	C2	放空(回气)接头	用于排空管连接
28	Vv	放空(截止)阀	用于气瓶压力手动泄放和增压回气
29	Vu	使用(截止)阀	控制出液
30	Va	汽化器	将液化气转换成气态天然气
31	FCv	进液单向阀	用于气瓶加液化气后防止液化气倒流
32	DCv	出液单向阀	控制液化气流出瓶外
33	Er	经济阀	控制气瓶内的压力
34	Ef	过流阀	防止管路流量大于设定值
35	P1	气瓶压力表	显示气瓶内压力
36	P2	管路压力表	显示供气管路压力
37	PBr	升压调节阀	调节增压压力
38	Pr	自增压盘管	增加供气系统压力
39	Pt	压力变送器	将气瓶内的压力输入液位显示器



（续）

序号	符号	名　　称	说明（表达式）
40	Pv	增压（截止）阀	关闭、控制增压压力
41	LG	液位计	液位器的数显
42	Svp	主安全阀（一级安全阀）	开启压力为 1.59～1.75MPa
43	Svs	副安全阀（二级安全阀）	开启压力为 2.20～2.85MPa
44	LSv	管路安全阀	
45	LRe	管路降压调节阀	
46	Cb	转换控制器	
47	SV	电磁阀	
48	ECU	电子控制单元	行车电脑
49	ECM	电子控制模块	
50	MAP	点火控制模块	
51	bar	压强单位	1bar＝0.1MPa
52	CO	一氧化碳	
53	HC	碳氢化合物（非甲烷碳氢）	
54	NO_x	氮氧化物	
55	CO_2	二氧化碳	
56	PM	颗粒物质	
57	H_2O	水分子（两个氢原子和一个氧原子）	
58	THC	总碳氢化合物	
59	NMHC	非甲烷烃	
60	CH_4	甲烷	
61	C_2H_6	乙烷	
62	DB	噪声	分贝
63	ETC	瞬态工况测试	
64	ESC	稳态工况法	
65	MPa/d	压强（兆帕斯卡/天）	



书中从理论上对LNG气体在重型载货汽车上的设计、应用进行了详细的介绍，对LNG气体发动机的结构进行了详尽的剖析，着重介绍了LNG气瓶及其附件与整车的匹配设计，对LNG气瓶及其附件的功能、作用也进行了描述，同时结合实践经验对LNG载货汽车的使用、保养、维修也进行了详尽的介绍。

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

扫一扫，
更多汽车维修精品图书供你选



上架指导 交通运输／汽车维修
ISBN 978-7-111-46837-0
策划编辑◎连景岩／封面设计◎张静



定价：49.90元